冲压技术丛书

农业机械工程机械冲压件制造技术

中国锻压协会 编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中国锻压协会成立于1986年7月，是全国一级社团法人单位，是锻造、冲压和钣金企业的行业组织。中国锻压协会服务于行业、服务于企业、服务于政府，是政府与企业间的桥梁纽带，旨在促进行业交流、进步与繁荣，为行业的共同利益服务。

为冲压行业出版一批适应行业发展、满足企业需求及教学参考的冲压专业书籍，是协会组织编撰“冲压技术丛书”的出发点和归宿点。在历时三年多的编撰过程中，共有110余位来自企业、高校和科研院所的专家、学者和工程技术人员参与其中。秉持博采众长、百花齐放的原则，从多层面、多角度阐述冲压技术涉及的产品、材料、工艺、模具、设备、生产实例，及其相互关系与各自发展。力求以综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性的风格与特点，为冲压业界各方面的读者都带来阅读价值。

希望本套丛书能够成为助力冲压企业取得更大进步和发展的良师益友，成为中国冲压行业迈向更大辉煌的阶梯。

中国锻压协会
北京市海淀区学清路16号学知轩大厦3层
邮政编码：100083
电话：010-68465045
传真：010-68465044
网址：www.chinaforge.org.cn

冲压技术丛书

农业机械工程机械冲压件制造技术

中国锻压协会　编著

主　编　宋拥政
副主编　戴　路　江正平
参　编（按姓氏笔画排序）
马　璟　杜智燕　杨文朵　苏建军　苏娟华
李丽春　李高欣　张彦敏　陈阳勇　周艳玲
祝　晶　秦桂先　黄利文　游　海　樊瑞峰

机 械 工 业 出 版 社

本书介绍农业机械、工程机械行业典型冲压件的制造技术，内容涉及冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与发展趋势。重点介绍中小型件冲压技术、覆盖件冲压技术、管材件成形技术、钣金件制作技术。

本书可供农业机械、工程机械行业冲压领域的工程技术人员参考，也可作为理工科中高等院校教学或培训教材，还适合机械制造与材料工程方向的研究生作为拓展性学习材料。同时还可作为政府部门、行业协会、科研院所和高等院校了解行业现状、制定发展规划、探究科研项目等的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

农业机械工程机械冲压件制造技术/中国锻压协会编著.—北京:机械工业出版社，2013.8（2014.3重印）
（冲压技术丛书）
ISBN 978-7-111-43905-9

Ⅰ.①农…　Ⅱ.①中…　Ⅲ.①农业机械-冲压机-机械制造工艺
Ⅳ.①S220.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 204561 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：孔　劲　责任编辑：孔　劲　王丹凤　陈建平
版式设计：霍永明　责任校对：陈　越
封面设计：姚　毅　责任印制：刘　岚
北京云浩印刷有限责任公司印刷
2014 年 3 月第 1 版第 2 次印刷
184mm×260mm · 18.75 印张 · 460千字
3001—4000册
标准书号:ISBN 978-7-111-43905-9
定价：98.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务　　网络服务
社服务中心：(010) 88361066　　教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：（010）68326294　　机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649　　机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203　　**封面无防伪标均为盗版**

冲压技术丛书

出版委员会

主　　任　张　金

委　　员　齐俊河　韩木林　朱继美　高丽红

顾问委员会

名誉主任　何光远　李社钊

主　　任　缪文民

副 主 任　王仲仁　周贤宾

委　　员（按姓氏笔画排序）

王红旗　卢险峰　阮雪榆　孙友松　李志刚　李硕本　宋玉泉
宋宝蕴　苑世剑　周开华　周永泰　荣惠康　俞新陆　涂光祺

编写委员会

主　　编　宋拥政

编　　委（按姓氏笔画排序）

王野青　任运来　祁三中　许发樾　苏娟华　李光瀛　李继贞
宋拥政　张　一　张　琦　陈　军　赵　军　赵升吨　赵彦启
侯英玮　徐伟力　舒鑫源　管延锦

丛书序一

继“锻件生产技术丛书”出版后，锻压行业另一套大型技术文献“冲压技术丛书”也与广大同仁见面了。编辑出版“冲压技术丛书”是中国冲压行业一项具有里程碑意义的重要工作！

锻压是人类发明的最古老的生产技术之一。人类发现和使用金属已有数千年，锻压生产技术随之不断发展。锻压技术对人类具有宝贵的实用价值。迄今人类生产的大部分金属材料，都是用锻压方法加工成成品零件。锻压产品无处不在。

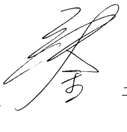
锻压加工是指通过设备和模具，使材料受力变形获得要求的成品零件。锻压加工材料大部分为金属材料，金属材料受力变形在学术上称为塑性成形，可分为体积成形和板材成形，有冷、温、热多种成形方式。锻压加工分为锻造、冲压和钣金三大领域。

冲压加工主要针对金属板材的冷态成形，所以被称为冷冲压或板料冲压，简称冲压。冲压生产与冲压行业在制造业中占有重要地位，冲压制造技术是现代制造技术的重要组成部分。

我国的冲压生产几乎遍布制造业的各个领域，涉及方面广泛，工艺内容繁杂，生产布局分散，且企业群体众多，同时受“工艺性”行业观念的影响，一直没有受到制造业界的应有重视。虽然改革开放以来，尤其是随着汽车制造业的发展，我国冲压行业整体水平明显提高，但与先进工业国家相比，仍有很大差距。从总体上看，冲压行业内的相互交流与合作明显不够，发展不平衡且较为缓慢，这不但影响了冲压行业自身的发展，也影响到与之紧密相关产业的发展与进步。

中国锻压协会本着服务行业、推动进步与发展的宗旨，历时 3 年多，组织了 110 余位行业专家、学者和工程技术人员编撰了这套共 6 个分册的“冲压技术丛书”，它对我国冲压行业的生产技术状况进行了系统的梳理、归纳和总结，内容涉及冲压件的材料、工艺、模具、装备、生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势，有基础应用理论，更有实践经验总结，还有对沿革的概述和对未来的展望，是从事冲压技术研究、教学和生产实践者的必不可少的学习资料，也是培养年轻冲压技术人员的重要教材，将有助于冲压行业企业取得更大的进步和发展。

在这套丛书出版之际，请允许我代表中国锻压协会，代表冲压行业的同仁们，向所有参加编撰辛勤工作的专家、学者和工作人员，致以衷心的祝贺和感谢！



中国锻压协会秘书长　　于北京

丛书序二

冲压成形是应用广泛、历史悠久的产品制造工艺，是汽车、飞机、农机、机车、电子产品等的基本制造方法，几乎没有一种现代工业装备上不采用冲压成形零件。全世界约 70% 以上的金属材料要通过变形加工制成产品，其中大部分零件又要以板材、管材或型材作为原材料或半成品进行冲压加工成形。所以，发展冲压制造技术对于发展制造业具有十分重要的意义，冲压行业在国民经济中占有重要的地位。

我国的冲压行业和冲压制造技术经历了六十余年的发展历程。尤其是改革开放三十多年来，冲压行业从小到大、从旧到新、由内向外不断发展壮大，为我国制造业和各行各业的快速发展起到了重要的支撑作用。冲压制造技术随着发展制造业和先进制造技术而不断发展，尤其在汽车工业迅猛发展的推动下，冲压制造技术在深度和广度上取得了前所未有的进展，正在朝着与高新技术结合，用信息技术、计算机技术、现代测控技术和先进适用技术与装备，改造提升传统冲压技术的方向迅速迈进。同时，也为我国冲压行业逐步走上专业化道路，与汽车工业、航空航天工业、装备制造业和材料工业的协调发展，与国际冲压行业和市场接轨奠定了基础。

面对我国冲压行业和冲压制造技术的巨大进步，中国锻压协会秉持服务行业、推动进步和发展的宗旨，历时 3 年多，组织 110 余位行业专家、学者和工程技术人员，编撰大型技术文献“冲压技术丛书”，旨在对国内代表性行业的冲压制造技术现状进行系统的梳理、归纳和总结及展望，以满足冲压行业发展的需要，为冲压业界各方面的读者都带来阅读价值。

“冲压技术丛书”共分六册，包括《冲压技术基础》《汽车冲压件制造技术》《航空航天钣金冲压件制造技术》《农业机械工程机械冲压件制造技术》《轨道机车车辆冲压件制造技术》和《电机电器电子高速精密冲压件制造技术》。

《冲压技术基础》分册，介绍冲压制造技术中新的综合性的共性基础内容。重点介绍冲压变形基础理论、冲压用金属板材、冲压工艺、冲压模具、冲压数值模拟与模具数字化制造、省力与近均匀冲压技术、冲压设备和冲压生产设施。

《汽车冲压件制造技术》分册，重点介绍汽车中小件冲压技术、汽车精冲件制造技术、汽车覆盖件成形技术、汽车冲压同步工程与质保体系、汽车车架件冲压技术、汽车车轮冲压技术、汽车桥壳冲压成形技术、汽车拉弯件成形技术、汽车车身轻量化新工艺新技术。

《航空航天钣金冲压件制造技术》分册，重点介绍飞机的蒙皮类零件、框肋类零件、型材类零件、弯管类零件、旋压类零件及其他成形零件的冲压制造技术。

《农业机械工程机械冲压件制造技术》分册，重点介绍农业机械工程机械的中小件冲压技术、覆盖件成形技术、管材件成形技术、钣金件制作技术。

《轨道机车车辆冲压件制造技术》分册，重点介绍机车、客车、货车和城际机车的分离件、弯曲件、拉深件、胀形件、翻边件和校平件的冲压制造技术。

《电机电器电子高速精密冲压件制造技术》分册，重点介绍电机铁心件、换热器翅片、电子引线框架、电连接器和精密微薄件的冲压制造技术，高效精密压力机及其自动化周边设备。

在“冲压技术丛书”编撰过程中，中国锻压协会与丛书主编始终坚持从企业中来，到企业中去的“企业路线”，从丛书的分册与架构，到章节设置与内容安排等，一切遵循从冲压生产实际出发，满足行业发展需要的原则，尤其重视来自冲压生产一线技术专家的参与和意见；始终贯穿以代表性冲压制造业的典型冲压件制造技术为主线，内容涉及冲压成形的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势，并注重综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性。这些理念、做法、要求和目标，得到了冲压行业参编单位及其专家、学者、工程技术人员的大力支持和一致赞同，丛书的编辑出版工作也受到机械工业出版社的高度重视并列入重点出版项目。大家为了这个共同的目标，积极努力，不畏艰辛，甘于奉献，终成正果。

应该说，这套凝结着我国冲压行业的专家、学者和工程技术人员心血与智慧的丛书，是国内外冲压业界首套基于冲压生产现状，跨行业、多学科、综合性的技术文献。它的问世，是在我国当今市场经济下，唯有行业协会才能运作完成的具有里程碑意义的大事，它凝聚了我国冲压行业冲压制造技术的精华，体现了我国冲压行业的技术软实力，将为我国冲压行业薪火相传、永续发展做出贡献！

在此，我谨代表丛书编写委员会向所有参与丛书编撰出版的专家、学者、工程技术人员和工作人员表示衷心感谢！在丛书编写过程中，得到了哈尔滨工业大学王仲仁先生、北京航空航天大学周贤宾先生、南昌大学卢险峰先生、华中科技大学李志刚先生、广东工业大学孙友松先生、中国模具协会周永泰先生等老一辈学者、专家的热情帮助，在此深表谢意！

这套丛书由于涉及的业务面广，专业类多，内容浩繁，加上时间仓促，经验有限，错误与不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。丛书出版后，随着时间的推移和技术的发展，未来还要再进行修订，以求进一步更新、完善和提高。

中国锻压协会“冲压技术丛书”主编 宋拥政 于北京

前　言

本书根据中国锻压协会“冲压技术丛书”主编提出的丛书编撰规划和《农业机械工程机械冲压件制造技术》编写大纲，由丛书主编组织国内农业机械工程机械行业代表性企业一拖（洛阳）福莱格车身有限公司、湖北齐星汽车车身股份有限公司，高等院校河南科技大学的专家、学者和工程技术人员进行编撰。

本书介绍农业机械、工程机械行业典型冲压件的制造技术，内容涉及冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势。

本书共分6章。包括农业机械冲压件制造技术概论（第1章）、农业机械中小型件冲压技术（第2章）、农业机械覆盖件冲压技术（第3章）、管材件成形技术（第4章）、农业机械钣金件制作技术（第5章）、工程机械冲压件制造技术（第6章）。

第1章由河南科技大学张彦敏、福莱格车身有限公司杨文朵、祝晶、游海编写，第2章由河南科技大学苏娟华、福莱格车身有限公司李丽春、祝晶、游海编写，第3章由河南科技大学马璟、福莱格车身有限公司李高欣、祝晶、游海编写，第4章由马璟、福莱格车身有限公司杜智燕、祝晶、游海编写，第5章由马璟、福莱格车身有限公司樊瑞峰、祝晶、游海编写，第6章由齐星汽车车身股份有限公司周艳玲、苏建军、陈阳勇、黄利文、秦桂先编写。第6章由齐星汽车车身股份有限公司江正平负责组织编撰和技术审核。全书由中国锻压协会宋拥政审定和统稿。

在此谨向参与本书编撰的全体专家、学者、工程技术人员和出版工作人员表示衷心感谢！

编　者

目　录

丛书序一
丛书序二
前言

第 1 章　农业机械冲压件制造技术概论 …… 1
1.1　农业机械结构的类型与沿革 …… 1
1.1.1　定义及分类 …… 1
1.1.2　农业机械结构类型 …… 2
1.1.3　农业机械结构的沿革 …… 3
1.2　农业机械冲压生产技术概述 …… 5
1.2.1　农业机械冲压生产技术的特点 …… 5
1.2.2　冲压生产技术涵盖的内容 …… 5
1.2.3　冲压技术在农业机械生产中的地位和作用 …… 7
1.3　农业机械冲压件的分类与演进 …… 8
1.3.1　冲压件的分类 …… 8
1.3.2　冲压件的演进 …… 8
1.4　农业机械冲压件的材料及其发展 …… 9
1.4.1　农业机械常用材料的种类 …… 9
1.4.2　农业机械冲压材料基本技术条件 …… 11
1.4.3　农业机械冲压用材料的选用 …… 12
1.4.4　农业机械冲压材料的发展趋势 …… 13
1.5　农业机械冲压工艺及其发展 …… 14
1.5.1　农业机械冲压工艺技术概述 …… 14
1.5.2　农业机械冲压工艺技术的发展 …… 14
1.6　农业机械冲压模具及其发展 …… 15
1.6.1　传统冲压模具的组成与分类 …… 15
1.6.2　柔性加工模具系列化 …… 15
1.7　农业机械冲压装备及其发展 …… 16
1.7.1　农业机械冲压装备的分类 …… 16
1.7.2　农业机械冲压装备的发展 …… 16

第 2 章　农业机械中小型件冲压技术 …… 17
2.1　概述 …… 17
2.1.1　农业机械中小型冲压件的特点 …… 17
2.1.2　农业机械中小型冲压件的主要生产方式 …… 17
2.2　农业机械中小型冲压件的分类 …… 18
2.2.1　按工艺性质分类 …… 18
2.2.2　按材料分类 …… 18
2.2.3　按功能分类 …… 18
2.3　农业机械和工程机械中小型冲压件材料及其发展 …… 18
2.3.1　中小型冲压件材料的种类 …… 18

2.3.2　中小型冲压件材料的发展趋势 …… 19
2.4　农业机械和工程机械中小型件冲压工艺及其发展 …… 20
2.4.1　中小型冲压件工艺特点与分类 …… 20
2.4.2　中小型冲压件工艺性的一般要求 …… 20
2.4.3　中小型冲压件工艺设计方法 …… 21
2.4.4　中小型冲压件工艺发展趋势 …… 28
2.5　农业机械和工程机械中小型件冲压模具及其发展 …… 30
2.5.1　小型冲压件模具特点 …… 30
2.5.2　中小型冲压件模具发展趋势 …… 42
2.6　农业机械和工程机械中小型件冲压设备 …… 44
2.7　农业机械中小型件冲压生产线案例分析 …… 45
2.7.1　柴油箱下壳生产案例 …… 45
2.7.2　加强筋生产案例 …… 55
2.7.3　连接架生产案例 …… 61
参考文献 …… 71

第3章　农业机械覆盖件冲压技术 …… 72
3.1　概述 …… 72
3.1.1　农业机械覆盖件的定义 …… 72
3.1.2　覆盖件的特点和要求 …… 72
3.1.3　覆盖件的成形性质及变形特点 …… 73
3.1.4　覆盖件冲压生产技术所涵盖的内容 …… 77
3.2　农业机械覆盖件的分类与演变 …… 79
3.2.1　农业机械覆盖件的分类 …… 79
3.2.2　农业机械覆盖件的演变 …… 79
3.3　农业机械覆盖件材料及其发展 …… 80
3.3.1　农业机械覆盖件材料的特点 …… 80
3.3.2　农业机械覆盖件对原材料的要求 …… 81
3.3.3　农业机械覆盖件常用材料 …… 82
3.3.4　农业机械覆盖件材料的发展趋势 …… 83
3.4　农业机械覆盖件冲压工艺及其发展 …… 84
3.4.1　农业机械覆盖件冲压工艺的特点和主要内容 …… 84
3.4.2　农业机械覆盖件冲压工艺设计方法和流程 …… 86
3.4.3　农业机械覆盖件冲压工序 …… 90
3.4.4　农业机械覆盖件冲压通常采用的工艺流程 …… 98
3.4.5　农业机械覆盖件的主要成形障碍及其防止措施 …… 99
3.4.6　农业机械覆盖件典型零件工艺介绍 …… 100
3.4.7　农业机械覆盖件冲压技术的发展趋势 …… 102
3.5　农业机械覆盖件冲压模具及其发展 …… 105
3.5.1　农业机械覆盖件冲压模具类型 …… 105
3.5.2　农业机械覆盖件冲压模具结构组成及特点 …… 105
3.5.3　农业机械覆盖件冲压模具典型结构 …… 106
3.5.4　农业机械常用的模具材料 …… 112
3.5.5　农业机械模具设计与制造的现状 …… 114

3.5.6 农业机械覆盖件成形模具的发展趋势 …… 115
3.6 农业机械覆盖件成形设备及其发展 …… 116
3.6.1 农业机械覆盖件冲压设备类型及特点 …… 116
3.6.2 农业机械覆盖件冲压设备规格 …… 120
3.6.3 农业机械冲压生产线类型 …… 121
3.6.4 农业机械覆盖件冲压辅助设备 …… 122
3.7 农业机械覆盖件冲压生产案例分析 …… 124
3.7.1 拖拉机机罩前脸 …… 124
3.7.2 拖拉机机罩上盖板 …… 124
3.7.3 拖拉机挡泥板顶板 …… 124
参考文献 …… 138

第4章 管材件成形技术 …… 139
4.1 概述 …… 139
4.1.1 引言 …… 139
4.1.2 管材成形技术 …… 139
4.1.3 框架式驾驶室结构简介 …… 141
4.2 管材成形件分类及材料要求 …… 142
4.2.1 管材成形件材料分类 …… 142
4.2.2 成形件材料技术要求 …… 144
4.3 管材件弯曲成形工艺 …… 145
4.3.1 管材弯曲成形原理及变形特点 …… 145
4.3.2 管材弯曲成形工艺分类 …… 146
4.3.3 管材弯曲成形缺陷分析和防止措施 …… 150
4.3.4 弯管成形工艺中回弹、伸长和成形半径 …… 154
4.3.5 CNC 弯管和编程 …… 159
4.3.6 弯管设计要求 …… 163
4.4 管材件弯曲成形模具 …… 164
4.4.1 模具分类 …… 164
4.4.2 弯管时芯棒的选取和使用 …… 166
4.4.3 模具设计原则（管件设计原则） …… 168
4.5 管材件成形设备 …… 170
4.5.1 弯管成形设备分类 …… 170
4.5.2 辅助设备分类 …… 178
4.6 管材件成形生产案例及分析 …… 181
4.6.1 驾驶室类生产 …… 181
4.6.2 安全架类生产 …… 186
4.7 弯管加工新工艺 …… 193
参考文献 …… 195

第5章 农业机械钣金件制作技术 …… 196
5.1 概述 …… 196
5.2 钣金下料工艺 …… 196
5.2.1 机械切割下料 …… 196
5.2.2 热熔切割下料 …… 197
5.2.3 电火花线切割 …… 199
5.2.4 三维激光切割技术 …… 200
5.3 钣金折弯工艺 …… 202
5.3.1 手工折弯 …… 202
5.3.2 机械折弯 …… 202
5.3.3 数控折弯 …… 202
5.4 钣金件材料分类 …… 203
5.4.1 冷轧板 …… 203
5.4.2 热轧板 …… 203
5.5 钣金模具 …… 203
5.5.1 机械折弯模具 …… 203
5.5.2 数控折弯模具 …… 206
5.5.3 手工折弯模具 …… 206
5.6 钣金设备 …… 206
5.6.1 下料设备 …… 206
5.6.2 折弯设备 …… 220
5.7 钣金制作实例 …… 225
5.7.1 手工折弯件 …… 225
5.7.2 数控折弯件 …… 227
参考文献 …… 228

第 6 章　工程机械冲压件制造技术 …… 229
6.1　概述 …… 229
6.1.1　工程机械冲压件的定义 …… 229
6.1.2　工程机械冲压件的特点 …… 229
6.1.3　工程机械冲压件的成形性质及变形特点 …… 230
6.1.4　工程机械冲压件生产技术所涵盖的内容 …… 230
6.2　工程机械冲压件的分类与演变 …… 230
6.2.1　工程机械冲压件的分类 …… 230
6.2.2　工程机械冲压件的演变 …… 231
6.3　工程机械冲压件常用材料 …… 231
6.3.1　板材的分类 …… 231
6.3.2　工程机械冲压件对原材料的要求 …… 231
6.3.3　工程机械冲压件常用材料 …… 232
6.4　工程机械冲压件制造常用设备 …… 232
6.4.1　概述 …… 232
6.4.2　机械压力机 …… 232
6.4.3　液压机 …… 233
6.5　冲裁件制造技术 …… 234
6.5.1　冲裁件类型 …… 234
6.5.2　冲裁件工艺性分析 …… 234
6.5.3　冲裁件排样 …… 236
6.5.4　模具压力中心 …… 236
6.5.5　模具凸、凹模刃口尺寸 …… 236
6.6　拉深件制造技术 …… 237
6.6.1　拉深件工艺设计前的准备工作 …… 237
6.6.2　拉深变形过程分析 …… 237
6.6.3　工艺控制处理措施 …… 238
6.6.4　CAE 分析 …… 240
6.6.5　同步工程 …… 243
6.6.6　回弹处理 …… 244
6.6.7　整体冲压成形技术 …… 246
6.6.8　少工序化技术的应用 …… 247
6.6.9　提高材料利用率的常用方法 …… 249
6.6.10　拉深件模具常用结构 …… 252
6.6.11　拉深镶块 …… 253
6.6.12　自动化装置 …… 254
6.6.13　刺破、冲孔、切角结构处理 …… 256
6.6.14　模具结构消皱处理 …… 258
6.6.15　模具退料 …… 259
6.6.16　组合模具 …… 259
6.6.17　模具通用化 …… 260
6.6.18　多件共模 …… 260
6.6.19　拉深件冲压调试常用解决措施 …… 260
6.7　修边工序制造技术 …… 263
6.7.1　工程机械修边件特点 …… 263
6.7.2　修边尺寸展开的计算方法 …… 263
6.7.3　二次修边接刀的制作 …… 264
6.7.4　减小冲裁力的措施 …… 264
6.7.5　废料处理 …… 265
6.7.6　修边件模具 …… 266
6.7.7　修边冲孔安全防护 …… 268
6.8　翻边整形制造技术 …… 268
6.8.1　翻边整形件类型 …… 268
6.8.2　翻边整形模应用范围 …… 269
6.8.3　翻边工艺 …… 269
6.8.4　翻边缺陷预处理 …… 270
6.8.5　翻边件模具 …… 270
6.9　斜楔模具制造技术 …… 273
6.9.1　斜楔模应用范围 …… 273
6.9.2　斜楔装置的形式 …… 273
6.9.3　常用类型介绍 …… 273
6.9.4　选用标准斜楔装置的基本条件 …… 274
6.9.5　使用注意事项 …… 274
6.10　弯曲件制造技术 …… 275

6.10.1　弯曲件类型 …………………… 275
6.10.2　成形性分析 …………………… 275
6.10.3　弯曲件的工艺性 ………… 275
6.10.4　弯曲工艺计算 ……………… 277
6.10.5　弯曲件常见问题…………… 279
6.10.6　通用化模具 …………………… 281
6.10.7　组合模具 ……………………… 281
6.10.8　无落料模成形 ……………… 282
6.10.9　多工序共模 …………………… 283
6.11　冲压模具安全要求 ……………… 283
6.11.1　主要零件及安全要求 …… 283
6.11.2　模具设计的安全要点 …… 284
6.12　冲压模具调试 …………………… 284
6.12.1　模具损坏 ……………………… 284
6.12.2　尺寸变异 ……………………… 285
6.12.3　检修方法 ……………………… 285
参考文献 ……………………………………… 286

第 1 章 农业机械冲压件制造技术概论

1.1 农业机械结构的类型与沿革

1.1.1 定义及分类

农业机械是指在作物种植和畜牧生产过程中，以及农、林、畜产品初加工和处理过程中使用的各种机械。广义的农业机械还包括林业机械、渔业机械和蚕桑、养蜂、食用菌类培植等农村副业机械。农业机械包含的内容比较广泛，其分类方法也多种多样。

（1）按用途分类　一部分农业机械是根据农业的特点和各项作业的特殊要求而专门设计制造的，如土壤耕作机械、种植和施肥机械、植物保护机械、作物收获机械、畜牧业机械、果树园林机械、农田排灌机械以及农产品加工机械、农业运输机械等。另一部分农业机械则与其他行业通用，可以根据农业的特点和需要直接选用，如农用动力机械、农田排灌机械中的水泵等；或者根据农业的特点和需要把这些机械设计成农用变型，如农业运输机械中的农用汽车（轻型载货汽车，简称轻卡，小型载货汽车，简称皮卡）、挂车等；农田建设机械用于平整土地、修筑梯田和台田、开挖沟渠、敷设管道和开凿水井等农田建设的施工机械，其中推土机、平地机、铲运机、挖掘机、装载机和凿岩机等土、石方机械等，与道路和建筑工程用的同类机械基本相同。

（2）按所用动力及其配套方式分类　应用的动力可分为两部分：一部分用于农业机械的行走或移动，据此可分为人力（手提、背负、胸挂和推拉）、畜力牵引、拖拉机牵引和动力自走式等类型；另一部分用于农业机械工作部件的驱动，据此可分为人力驱动（手摇、脚踏等）、畜力驱动、机电动力驱动（利用内燃机、风力机、电动机等）和拖拉机驱动等类型。在同一台农业机械上，这两部分可以使用相同的或不同的动力。

按农业机械与拖拉机的配套方式，可分为牵引、悬挂和半悬挂等类型。

（3）按作业方式分类　农业机械可分为行走作业和固定作业两大类。在行走作业的农业机械中，又有在连续行进过程中作业的连续行走式和行进与作业过程交替进行的间歇行走式两类。在固定作业的农业机械中，则有在非作业状态下可以转移作业地点的可移动式和作业地点始终固定的不可移动式两类。

（4）按作业地点分类　农业机械按作业地点可分为野外作业（田间、牧场和果园等）、场院作业、室内作业（厂房、机房、库房、温室和禽畜舍等）、水中或水上作业（河流、渠道、水库和水井等）、道路作业和航空作业等类型。

在这些农业机械中，作为动力牵引装置、应用最为广泛是拖拉机，收获机械、农田耕种

建设等土方机械应用也较为广泛。拖拉机按结构形式可分为：手扶拖拉机、轮式拖拉机、履带拖拉机；按功率大小可分为：大型拖拉机（36.78kW 以上）、中型拖拉机（14.71～36.78kW）和小型拖拉机（14.71kW 以下）。本书在不作特殊说明的情况下，均以拖拉机为例。

1.1.2　农业机械结构类型

1. 基本结构

（1）拖拉机　农业机械种类繁多，结构形式多种多样，其基本结构主要由发动机（以柴油机为主）、底盘、电气系统及车身覆盖件四大部分组成。

发动机是使输送进来的燃料燃烧而发出动力的部件。拖拉机底盘将发动机和拖拉机各个系统及装置连成一体，将发动机的动力变成拖拉机行驶的驱动力，以保证拖拉机能根据使用要求进行田间作业或运输作业，或输出动力进行固定作业。电气系统由电源和用电设备组成，有点火系、起动系、照明、暖通、仪表信号系统等。车身由前机罩、后机罩、驾驶室白车身、内外装饰件和车身附件等组成，是前部冷却装置、发动机等防护和提供驾驶员操作的场所。对整个车身来说，应具有视野良好、乘坐舒适、美观、安全、可靠、耐用等功能要求。

（2）收获机　收获机应用比较普遍的是多行自走式联合收获机，它们一般形体较大，为了保证良好的视野，驾驶室放置在前端，且驾驶室采用大块的风窗玻璃，视野广阔，能够方便地对喂入的作物进行作业。发动机布置在后部，通过带传动将动力输送到前端，后部剩余空间兼作果箱。驾驶室前下部为可以装配不同的割台，即切割喂入装置，下部及后方的机械机构，用于对喂入作物的摘穗、集箱和秸秆粉碎或切断、粉碎、脱粒和输送或捆扎，外表辅以大板块的覆盖件，对内部机械运动部件起防护，外部起整体造型美观作用。驾驶室安装平台、前挡泥板和上车扶梯整合为一体。

（3）土方机械　拖拉机前部动力输出除可以装配农机具和伸缩臂装载斗外，还可以装配伸缩臂推土铲，后部动力输出可以连接挖掘机部分的铲斗、铲斗柱、回转臂和液压系统，行业上统称该机型为“两头忙”。由于形体较大，多用于农田建设和大型矿山上。另一种是单一功能的推土装载机和挖掘机，按照行走方式的不同，分为履带式和轮式。其整机与拖拉机或收获机布置一致。

2. 车身构造

（1）拖拉机　根据拖拉机装配驾驶室与否，车身结构可分为带驾驶室机型和不带驾驶室机型两种。

驾驶室机型分为两部分，前部分为前机罩总成，后部分为驾驶室总成，后机罩装配在驾驶室内部。行业标准要求驾驶室本身应具备安全性能。不带驾驶室机型增加了机罩隔板，用于固定后机罩垂直方向；为满足翻车、防落物和遮阳等产品性能需要，通常增加安全架装置，温热带地区一般配套遮阳棚。

1）前机罩。前机罩是体现拖拉机整机产品造型的关键部件，工艺分块与造型密不可分。机罩有隔声降噪的性能，要求产品有一定的刚度，所以各部分组件常采用薄板拉深成形。因其还要具备散热通风的功能要求，故前脸部件一般由网眼冲压成形，侧板部件增开网眼分块。

2）驾驶室。拖拉机驾驶室白车身的结构基本有 3 类：冲压驾驶室、框架式驾驶室和混合型驾驶室。

冲压驾驶室全部采用结构设计复杂的薄壁钣金件，通过将内、外板焊接在一起组成驾驶室的整体结构，其设计及制造技术较成熟，该类驾驶室应用比较广泛，在早期大批量生产的东方红 70/802 履带拖拉机及菲亚特（FIAT）轮式拖拉机中应用，国外芬特机型应用最多。框架式驾驶室一般采用型材折弯组焊形成主要骨架，地板采用较厚板料的冲压覆盖件与地板骨架组焊在一起，外围由玻璃装配而成。混合型驾驶室采用型材做骨架，外表辅以蒙皮组焊而成，焊接骨架可以对驾驶室起到加强作用。蒙皮可以采用钣金件，也可以是冲压成形件，国外也有采用多分子材料成形的，能更好地提升驾驶室外观质量。

3）后机罩。后机罩部件可以分 3 种形式：全部冲压件组焊，如东方红小型拖拉机后机罩；除仪表罩外，本体采用冲压件组焊，如东方红 70-90 马力（1 马力 = 735.499W）机的后机罩；第三种是内部采用冲压结构件组焊，外部复合材料蒙皮或注塑件卡接。由于后机罩要满足操纵机构的装配和强度要求，其覆盖件结构较为复杂，如后机罩左右侧板、离合器踏板支座等。

4）油箱。油箱分 4 种：钣金焊接、冲压拉深修边件缝焊、板料滚压件端盖滚压和高分子材料滚塑成形。油箱可以放置在驾驶室下部、后部，也可以放置在发动机前端，甚至可以兼作外表覆盖件，只要空间能够布置得下，没有特定限制。近些年高分子材料油箱较为流行，其最大的优势是能够充分利用整机空间，可以制作各种形状截面的油箱。

（2）收获机。收获机作业环境较差，车身覆盖件包括驾驶室、传动覆盖件和割台等。驾驶室是关键部件，提供洁净舒适环境的场所，密封性隔声性能要好，通常为四柱式结构，基本配置与拖拉机驾驶室一致，基本结构也同拖拉机驾驶室一致，且重型拖拉机驾驶室（300 马力以上）结构形式正向收获机驾驶室结构发展。

收获机传动机构的覆盖件尺寸很大，需要保证一定的刚度，通常采用浅拉深成形冲压件作蒙皮，内部焊接型材骨架；国外高分子材料发展较快，常采用 ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）双层吸塑工艺，ABS 外敷 PMMA（聚甲基丙烯酸甲酯），表面质量非常好，中空结构也可满足隔声降噪的性能要求。

（3）土方机械　土方机械驾驶室同拖拉机一样，也有 3 种形式：冲压驾驶室、框架式驾驶室和混合型驾驶室，根据生产批量进行不同选择。在挖掘机中，一般冲压驾驶室的结构形式较为多见；在推土装载机中，3 种形式都有应用。由于土方机械驾驶室有防翻滚和防落物安全标准限制，骨架和顶棚都需要考虑整机强度，一般采用高强度钢板拉深成形和高强度型材组焊而成。

1.1.3　农业机械结构的沿革

1. 农业机械结构的历史

农业机械结构随历史的发展存在不同的阶段。农业机械的起源可以追溯到原始社会使用简单农具的时代。在中国，新石器时代的仰韶文化时期（约公元前 5000 ~ 公元前 3000）出现了原始的耕地工具；春秋战国（公元前 8 世纪 ~ 公元前 3 世纪）时已拥有耕地、播种、收获、加工和灌溉等一系列铁、木制农具；之后相继出现了农业生产中使用的各种机械和工具，这一阶段以手工、畜力工具为主。

19 世纪 ~20 世纪初，是发展和大量使用新式畜力农业机械的年代。1831 年，美国的 C. H. 麦考密克创制成功马拉收割机。1936 年，出现了第一台马拉谷物联合收获机。1850 ~1855 年间，先后制造并推广使用了谷物播种机、割草机和玉米播种机等。20 世纪初，以内燃机为动力的拖拉机开始逐步代替牲畜，作为牵引动力广泛用于各项田间作业，并用以驱动各种固定作业的农业机械，农机造型有了初步的模型，拖拉机结构基本确定下来。随着电子技术、计算机技术等各种先进科学技术的发展，农业机械逐步向作业过程的自动化方向迈进。

2. 农业机械结构的发展趋势

发达国家普遍重视现代农业装备的研究和产业扶持。进入 21 世纪，部分农业产业已经成为某些国家的支柱产业，如美国的现代农业、荷兰的设施园艺产业、日本的水产养殖产业、巴西的生物利用产业等。

国外农业相关产业的发展特征总体上可描述为：产业发展成熟度较高，产业支撑基础牢固；技术水平与装备质量较高；高新技术在相关装备上得到广泛应用。其田间作业大多在 20 世纪 40 ~60 年代实现了机械化，在 20 世纪 70 年代后先后实现了现代化。至今，除水果、蔬菜收获部分环节尚未完全实现机械化外，其他如粮食、棉花、油料、糖料的生产已全部实现了机械化。

从近年农业产品技术的发展特点来看，无论是拖拉机、收获机械还是牧草机械都显示出农业装备向大型化、专业化、数字信息化、智能化、操作舒适化和少排放方向发展，以适应现代农业、农艺发展的要求。

（1）农业机械向大型化方向发展　国际上大型联合收割机、拖拉机、植保机械、经济作物作业机械，以及与大功率拖拉机配套的大型复式耕整地机械和精密播种机具等庞然大物大多应用于欧美等发达国家的大型农场。拖拉机、收获机械、牧草机械向大型化的发展与农场规模不断扩大、人力成本上升和用户要求提高机械作业效率等因素密切相关，这些大型农机具集多种作业工序于一体，作业效率明显提高，同时又可减少机器数量及禁地次数，达到了保护土壤、节约成本、提高效率、节省能源和保护环境的多种功效。

（2）农业机械向专业化方向发展　为适应葡萄园、果园、林业、道路养护等的特殊需要，以牵引机械为主的农机类型已向更加专业化方向迈进。

（3）数字化、信息化、智能化成为农机科技先进性的重要标志　随着精准农业的迅速发展，大型拖拉机、联合收割机普遍都采用了 GPS（全球定位系统）定位、激光制导等高新技术，以精确地指导用户进行作业。导航技术、传感技术、数据管理技术和 ISOBUS 总线技术等越来越多地被应用到拖拉机、收获机等的农业机械上。

（4）低排放、零排放成为农业装备发展不可逾越的鸿沟　随着全球石油、天然气和煤炭等不可再生能源的加剧消耗，生物等可再生能源的发掘和利用越来越得到各国的高度重视，因而低排放、准零排放、零排放成为各家公司竞相展示的技术亮点，SCR（选择性催化还原）技术、混合动力成为柴油机技术在环保方面先进性的重要标志，目前国际上已有以氢气为燃料、零排放的拖拉机问世。

（5）舒适性、操作和维护便利性成为人机工程设计的重点　农业机械受作业条件的限制和为满足完成作业任务的需求，一般体形比较大，且农机结构受外观造型的要求越来越趋于复杂集约。现代农机车身设计，在重视实用性的同时，突出以人为本的理念，越来越突出

人性化和注重个性化，在操控便捷性、乘坐舒适性和安全性方面有了很大提高。

1.2　农业机械冲压生产技术概述

1.2.1　农业机械冲压生产技术的特点

冲压加工是利用安装在压力机上的模具，对放置在模具里的材料施加压力，使板料在模具里产生分离或变形，从而获得一定形状、尺寸和性能的产品的加工方法。冲压工艺广泛应用于汽车、农机、航天工业领域，是一种适合大批量生产的加工方法。农机大型覆盖件冲压生产通常采用大吨位和大工作台台面的冲压设备，采用机械化和半自动化流水线生产，压力机吨位为 600～2000kN，广泛采用移动工作台，缩短模具更换时间，提高设备开动率。农机小型冲压件一般采用半机械化人工辅助生产，压力机吨位采用 63～1000kN 不等，农机型材加工采取专用设备冷弯成形，后续工序辅以机械加工方法。

1.2.2　冲压生产技术涵盖的内容

1. 冲压工艺

冲压工艺水平是决定冲压设备类型、生产组织形式、机械化和自动化程度的主要依据。确定工艺水平要考虑的因素如下：

1）生产纲领。

2）产品，即农机车身零部件的形状、尺寸、材料的厚度和性质、技术要求（包括质量、制造精度和使用要求等）。

3）投资的经济性。

4）国家农机发展规划。

5）专业化协作。

6）厂家现有工艺装备水平和原材料技术状态以及供应条件。

7）生产准备的周期。

冲压生产工艺技术与农机生产纲领关系尤为密切。制订正确的冲压工艺方案是冲压成功的关键。冲压工艺方案一经确定，则车间的生产设备、辅助设备、模具设计、平面布置、动力设施、工艺投资、生产组织等随之而定。所以，工艺过程选择的正确、先进与否，将直接影响整个车间设计的质量和水平，同时也直接影响车间投产后的技术经济效果。

冲压工艺大致可分为分离工序和成形工序两大类。分离工序又可分为落料、冲孔和切割等；成形工序可分为弯曲、拉深、翻边、翻孔、胀形、扩口、缩口和旋压等。根据产品的形状、尺寸、精度和其他技术要求，可分别采用各种工序对毛坯进行加工，以获得满意的零件。

2. 冲压设备

冲压设备按使用性质分为生产设备、辅助设备、起重运输设备等。生产设备包括压力机、剪板机、开卷线及板料清洗机等。辅助设备是指调试压力机、废料输送机、工件输送机、模具清洗机和机模修设备等。起重运输设备主要有桥式起重机、电动平板运输车、电动叉车等。

大量生产农机车身覆盖件时，冲压成形应采用大型机械压力机或高速液压机组成的冲压

线，配备拆垛和中间传输装置等；成批生产时，通常选择通用机械压机或液压机组成的冲压线，送料和取件多采用人工方式；小批量生产时，常采用单台液压机，一般只有拉深成形工序使用冲模，后续工序采用手工加工和机械加工，如钻孔、联合冲剪机、滚剪机等。近年来，农业机械中驾驶室、安全架、隔板等产品较多使用型材直接成形，产品更新换代加快，板料小批生产模式增加，冲压设备涵盖了柔性加工单元，一些等离子切割机、激光切割机、折弯机、转塔冲和系列化弯管机等柔性加工设备、钣金技术广泛应用到农机工业生产中。

常用的冲压生产设备是曲柄压力机和液压机，二者在加工速度、行程大小与所产生的压力、保压作用及过载可能性等方面有所不同。对于中小型冲裁件、弯曲件或浅拉深件多用具有 C 形床身的开式曲柄压力机；在大中型和精度要求较高的冲压件生产中，多采用闭式机身的曲柄压力机，这类压力机两侧封闭，刚度较好，精度较高，但操作不如开式的方便；对于形状复杂零件的大批量生产，应优先考虑选用多工位自动压力机。一台多工位自动压力机能够代替多台单工位压力机，并且可以消除工序间半成品的堆放和运输问题。而对落料、冲孔件的大批量生产，则应选用效率高、精度高的自动高速压力机。

小批量生产中，尤其是大型厚板冲压件的生产，多采用液压机。它不会因为板材的厚度超差而过载，特别对于施力行程较大的加工，具有明显的优点，因此多用于弯曲、拉深、成形、校平等成形工序。

3. 冲压模具及材料

冲压模具是在冷冲压加工中，将材料加工成零件（或半成品）的一种特殊工艺装备。冲模的类型与构造不但决定于它完成的冲压工序，而且与生产批量密切相关。冲模的数量、种类、复杂程度和寿命等是直接影响冲压件成本的关键，尤其是生产纲领较小的工厂，冲模费用的摊销比例相当大。因此，必须根据冲压件的复杂程度和生产纲领，估算产品的销售寿命，以决定冲模的水平。

虽然冲模的费用昂贵，但是由于生产率高，可以使冲压件的成本降低。常规考虑在大吨位和大工作台台面的压力机上采用多套冲模联合安装的方案。在中小批量生产中，如果产品技术条件允许，采用低熔点合金模具或其他简单的通用冲模，或者利用转塔冲、等离子切割机落料，折弯刀折弯等。

冲压模所用材料主要有碳素钢、合金钢、铸铁、硬质合金、低熔点合金、锌基合金、铝青铜、合成树脂、聚氨酯等。根据冲压零件生产批量的大小：对于大批量生产的零件，模具材料应采用质量较好、耐用的材料。反之，应采用较便宜、耐用度较差的材料。例如，对于较小批量的生产，可用塑料模代替钢模，或采用柔性加工模式。

（1）碳素工具钢　在模具中应用较多的碳素工具钢是 T10A，其优点是加工性好，价格便宜，但淬透性和热硬性差，热处理变形大。它适用于制造工作负荷不大、形状简单的凸、凹模和要求耐磨的其他模具零件。

（2）低合金工具钢　用于模具的低合金工具钢有 CrWMn、9CrSi、GCr15、9Mn2V 等。这类钢具有高的淬透性，热处理变形小，有较高的硬度和耐磨性，常用作形状复杂的中小型冲裁模和弯曲模的成形零件。其中 9Mn2V 是适合我国资源的钢种，可以用它代替其他低合金工具钢用作模具。

（3）高碳高铬工具钢　常用的高碳高铬工具钢有 Cr12 和 Cr12MoV 等，由于含有大量的铬，形成多种碳化物，它们能够较好地满足模具要求的高硬度、高强度、高耐磨性和淬火变

形小的性能。

4. 冲压材料

农机冲压用材料主要是钢板，质量要求较高，如外覆盖件表面质量要求非常严格，因此对其采用的材料要求表面不许有磕碰伤、橘皮和灰尘。据国外研究资料显示，生产一辆农业机械的费用按比例分配为原材料占 50%、制造占 30%、设计开发占 8%、其他占 12%。由此可见，原材料占农机费用比例最高，即原材料的选择直接决定了产品性能和经济性。因此，为产品合理选用材料，选择适用性的材料是保证产品使用性、工艺性、经济性的基础。

5. 冲压安全生产技术

冲压生产的特点是操作简单、速度快、生产率高，是机械加工中最容易出事故的工种之一。目前，在农机冲压生产中解决安全生产技术方面有如下措施。

（1）采用工具代替人手直接进入压力机　在中小型压力机上如不能采用机械化进退料装置时，可以用手工工具送料和取件，为防止将手工工具压入模具造成模具和设备的损坏，应尽量采用软金属和非金属材料制作的手工工具。手工工具应具有结构简单、质量轻、经济方便的特点。常用的手工工具有弹簧夹钳、钩子、气动夹钳、真空吸盘和电磁吸盘等。

（2）实现送料和退料的专用装置　送进单个毛坯可以采取滑块和溜槽等多种形式代替手工操作。把冲压后的制件从操作空间退出的措施和机构主要有：小而轻的制件可用定向压缩空气吹出；从上模打落的制件可用活动滑板和翻板机构退出；从凹模退出的制件也可用弹簧退件器；大型覆盖件可用气动或液压夹钳和机械手等。

（3）设计和制造带有安全机构的冲模　一般在模具上设置防护罩和扩大模具的安全操作空间。

（4）压力机采用各种保护装置　主要有使用双手按钮和采用光电安全保护装置，当手指一旦伸入危险区内，压力机通过光、电讯号的改变自动停机。

6. 冲压检测技术

检测技术是冲压工艺技术的重要组成部分。农业机械中有 35% 左右的零件是冲压件，且大部分作为外观覆盖件存在，因此冲压件的质量控制对整车质量是至关重要的。性能检测包括刚性检测和材质确认两个方面。刚性检测一般由专业实验室进行；材质检测是冲压生产部门按照材料确定材料进行采购，进厂后进行材质和性能测试，材质合格后可投入生产。

冲压件的尺寸和几何公差检测是指零件在检具上进行几何尺寸测量。没有检具的零件往往比较简单，采用常规工具（游标卡尺、钢板尺、盒尺、角度仪等）进行检测。复杂冲压件尺寸精度的检测有卡板、检验夹具和三坐标测量机三种方式。卡板针对小批量生产中小型简单冲压及型材加工件，主要进行成形截面的检测和型材弯曲的检测。检验夹具是对覆盖件及其总成件进行综合性检测的主体量具，其检测内容主要是立体型面、轮廓形状和尺寸，将检测数据与检查基准所规定的公差要求进行对照，以判断工件是否合格。检验夹具是用于冲压生产现场监测冲压件的常规手段。三坐标测量机通常用于指定产品的抽检，对其全尺寸进行测量，特别关注其功能尺寸的检查。三坐标测量机测量的结果直接与 CAD（计算机辅助设计）数据对比，是冲压件质量分析的重要工具。

1.2.3　冲压技术在农业机械生产中的地位和作用

在农机制造业中，冲压工艺是农机制造的四大核心技术之一。农机车身冲压件的数量和

比例很大，例如，拖拉机的冲压件成本占整台拖拉机的15%～25%，其冲压件数量占整台拖拉机零件数的35%～50%。通常情况下，每辆拖拉机上平均包含约600余种冲压件，这些冲压件都要经过冲压加工，如车身上的各种覆盖件、车身内部结构加强件，还有安全架、驾驶室白车身、车架、货箱，以及大量的零部件（如车轮钢圈、消声器、发动机的气缸盖罩、分油器、油箱和座椅骨架等），都是经冲压成形的，且冲压工艺装备投入比例也高。在冲压、焊装、涂装、总装四大工艺装备中，冲压工艺投资所占比例最高，通常占总投资的40%左右，对经济规模影响较大。

1.3 农业机械冲压件的分类与演进

1.3.1 冲压件的分类

农业机械种类较多，其冲压件的种类、大小也是千变万化，按结构功能区分，拖拉机冲压件由车身覆盖件和结构件组成。

车身覆盖件是指覆盖车身底盘和发动机、构成驾驶室及车身的所有厚度小于3mm的薄钢板冲压而成的形状复杂的表面及内部薄板零件，包括机罩、前挡泥板、外挡泥板、顶盖、油箱、气缸盖罩等。车身结构件是指车身内部起支承、加强作用及满足装配功能的冲压件。车身结构件的断面形状和尺寸直接影响车身的结构强度和刚度、功能及装配工艺。车身结构件包括梁柱零件和结构加强件，如机罩加强筋、驾驶室白车身、地板加强梁、地板、立板、挡泥板加强筋、前悬架焊合件等。

按零件尺寸分类，冲压件可分为：中小冲压件、大型覆盖件、管材加工成形件。

按加工工艺分类，冲压件可分为：冲裁件、弯曲件、拉深件、胀形件、旋压件等。

按覆盖件用途分类，冲压件可分为：机罩覆盖件、挡泥板覆盖件、底板覆盖件、驾驶室覆盖件。

按覆盖件结构特征分类，冲压件可分为：外板覆盖件和内板覆盖件等。

通常大批量生产时，冲压工厂自制的车身冲压件见表1-1。

表1-1　自制车身冲压件一览表

序号	零件名称	件数/车
1	发动机罩	1
2	机罩前脸	1
3	后机罩左、右侧板	1/1
4	机罩左、右防护板	1/1
5	顶盖	1
6	外挡泥板	1
7	驾驶室白车身	1
8	地板	1
9	左右立板	1/1
10	加强筋	1/1
11	油箱	1/1

1.3.2 冲压件的演进

从20世纪初，以内燃机为动力的拖拉机替代牲畜作为牵引动力以来，拖拉机基本车型不断变化，农机冲压件也在不断发展和进步。初始阶段的车身冲压件为全金属结构，车身造

型简单，生产批量也不大，因此冲压件结构并不复杂，以简单的钣金制作为主，车身没有很高的质量和性能要求，冲压件依靠钣金工匠手工制作完成。

20 世纪末，汽车车身结构的变化促进了冲压件设计、工艺及模具的发展。在汽车业的带动下，农机行业有了长足的进步，社会需求量增加快速，促使农机制造者不得不采用简单的冲压模具和压力机才能生产出满足车身造型要求的冲压件，冲压件制造过程是先用模具将钢板冲压出大概的轮廓，然后依然靠人工的钣金制作，生产率较低，质量控制也较困难，成本也很高。

21 世纪以来，随着汽车工业化的进一步发展，车身造型和 CAD 技术应用的日益广泛，农机产品美观性和满足用户多功能、舒适性及精准农业的需要，车身冲压件的结构开始有曲线的变化，拖拉机车身冲压件形状变得日趋复杂，具有空间曲线形状的冲压件也越来越多，车身冲压件或由型钢转变为钢板冲压成形，或型钢冷弯成形外敷蒙皮，一些简单平板和型材结构演变为滚压成形的瓦楞板结构，许多冲压零件发生着日新月异的变化。农机冲压件的生产工艺也发生巨大变革，大量标准化的压力机和冲压模具应用到冲压件生产中。同时，使用压力机和模具生产操作简单，对冲压生产人员的技术技能要求降低，但是对冲压件质量控制越来越严格。

现代农机覆盖件向一体化及大型化的冲压件发展，冲压件的品种和数量在逐渐减少，如目前大多数机罩、挡泥板都采用整体的大分块形式，一次冲压成形。这种结构可以明显减少车身冲压件数量，降低成本。

1.4　农业机械冲压件的材料及其发展

1.4.1　农业机械常用材料的种类

农业机械制造业中采用了大量的冲压工艺，该工艺生产率高，产品质量稳定，适合农机业多品种、大批量生产的需要。大部分覆盖件及一些支承结构件（如白车身、铲斗等）零部件都是冲压件。用于冲压的钢材主要是钢板、钢带和型钢，拖拉机占整车钢材消耗量的 20% 左右，机具约达到 70%。现代农机工业用材料除采用传统的普通低碳钢外，还采用高强度钢板、高强度型材、塑料、复合材料及铝合金材料。

1. 钢板材料

钢板材料是农机覆盖件制造中最常用的材料。一般农机冲压使用的钢材按生产方式可分为冷轧钢板和热轧钢板。冷轧钢板表面质量好，多用于制造车身覆盖件，热轧钢板多用于驾驶室、底盘及车轮等有一定强度的冲压件。

农机常用钢板（包括带钢）一般分类如下：

（1）按厚度分类　有薄板、中板、厚板和特厚板。

（2）按生产方法分类　有热轧钢板和冷轧钢板。

（3）按表面特征分类　有镀锌板（热镀锌板、电镀锌板）、镀锡板、复合钢板和彩色涂层钢板。

（4）按用途分类　有汽车钢板、结构钢板、弹簧钢板和其他。

1）冷轧钢板。冷轧钢板使用得最多，其厚度在 0.15 ~ 3.0mm 之间，车身覆盖件多采用 0.9 ~ 2.0mm 的薄板，这种薄钢板尺寸精度非常高，表面平整光滑，屈服强度低，具有良好

的力学性能和可加工性。主要用于顶盖、发动机罩、后机罩、挡泥板盖、驾驶室白车身蒙皮、仪表板等外覆盖件，这些零件要求材料具有高的成形性能、良好的表面质量和焊接性能。

2）热轧钢板。用于冲压生产的热轧板厚度一般≤16mm，深冲压一般≤8mm。热轧钢板表面质量可分为 FA 和 FB 两个级别。热轧钢板表面处理方式可采用酸洗表面和非酸洗表面两种方式。

常见的冲压用非酸洗表面热轧钢板多为优质碳素结构钢。优质碳素结构钢是碳的质量分数小于 0.8% 的碳素钢，这种钢中所含的硫、磷及非金属夹杂物比碳素结构钢少，力学性能较为优良。按含碳量不同可分为三类：低碳钢（w(C)≤0.25%）、中碳钢（w(C)=0.25%~0.6%）和高碳钢（w(C)>0.6%）。按含锰量不同分为两类：正常含锰量（w(Mn)=0.25%~0.8%）和较高含锰量（w(Mn)=0.70%~1.20%），后者具有较好的力学性能和可加工性。此类钢板多用于汽车、航空工业及其他部门。其钢的牌号为沸腾钢：08F、10F、15F；镇静钢：08、08AL、10、15、20、25、30、35、40、45、50。25 及 25 以下为低碳钢板，30 及 30 以上为中碳钢板。

2. 型材

型材按生产方法的不同可分为无缝管和焊管。无缝管根据生产工艺又可分为热轧管、冷轧管、冷拔管、挤压管和顶管等；按后续加工工艺可分为直管和弯管；按壁厚可分为薄壁钢管和厚壁钢管（以 2mm 为界限）；按断面形状的复杂程度可分为简单断面钢管和复杂断面钢管。

（1）简单断面钢管　为满足安全、低成本和美观等要求，现代车身结构常采用规则的简单断面钢管，如系列化的矩形管、圆管、方管等，最具代表性的有地板纵梁、安全架、驾驶室白车身等。用于农机白车身制造及加强结构的材料，为满足产品安全性能要求，常采用高强度钢厚壁管冷弯成形。

（2）复杂断面钢管　现代农机车身结构为降低成本和美观等要求，将部分需要产生装配关系的零件从规则管材外加焊折边蒙皮更改为异型管材，强度提升的同时，也满足了装配需要，如门框、前立柱、中立柱、后立柱等。

3. 其他材料

用于农机车身制造的复合材料还有塑料材料和橡胶材料等。

（1）塑料材料　为节省资源、满足轻量化、防腐、低成本和美观等要求，农机车身结构应用塑料材料的比例越来越大。塑料材料具有如下特性：与钢板相比，塑料具有密度小，成形性好，具有金属钢板不具备的外观（颜色、光泽）和触感、柔软、弹性、耐蚀、防振、隔声和隔热性能好等特点。除此之外，纤维增强复合塑料具有很高的机械强度，能够代替钢板材料。

车身结构中采用塑料材料的零件有：驾驶室内、外装饰件；驾驶室附件的壳体、罩盖、支架和手柄等；代替钢板材料制造车身板件，如外挡泥板、防溅板、装饰条、前机罩、顶棚等，还可用于制造油箱等功能件。通常情况下，车身构件可直接使用塑料成形件，也可使用经过涂装或电镀后的塑料件。国际上通用的工程塑料材料主要有：DCPD（双环戊二烯）、PP（聚丙烯）、ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）、PMMA（聚甲基丙烯酸甲酯，也称为有机玻璃）、LDPE（低密度聚乙烯）等。

车身材料塑料化是车身轻量化设计的有效手段，综合地反映了对车身设计性能的要求，即轻量化、造型、安全、可靠、防腐及舒适性等。目前在大批量生产中的应用不如钢板冲压普遍。

（2）橡胶材料　橡胶材料由于其特有的弹性好、耐腐蚀、耐老化等特点，在农机产品中应用非常广泛。就缓冲性能而言，密封胶条、车身覆盖件和白车身上活动部件均有使用，各部位的密封垫也不可或缺。目前常用的橡胶材料主要有：聚氨基甲酸酯（发泡成形）、三元乙丙橡胶、橡胶Ⅱ等，主要应用于内饰件、外饰密封或装饰件，如地板垫、仪表台外板、左右内轮罩、门密封胶条、门锁部件密封垫等。

1.4.2　农业机械冲压材料基本技术条件

1. 材料种类和规格及主要力学性能指标

（1）材料种类和规格　材料种类和规格主要决定于车型设计定位和产品工艺性要求，同一车型零件在满足要求的前提下，选用材料时要尽可能将材料种类和规格控制在较少的范围之内。

（2）冲压材料的主要力学性能指标

1）屈服强度：屈服强度小，材料易于变形，当压缩变形时，不易起皱，对弯曲变形，回弹性小，即贴模性和定型性好。

2）屈强比：屈强比越小，即材料易于塑性变形而不易拉裂。

3）伸长率：伸长率表示板料产生均匀变形的或稳定的塑性能力，直接决定伸长类变形中的冲压成形能力。伸长率是影响翻孔或扩孔成形性能最主要的参数。

4）应变强化指数 n：n 值越高，表示钢材在成形加工过程中高变形区强度较高，变形较易传播到邻近的低变形区，从而应变分布较为均匀，减少局部变形集中的现象。n 值对于拉胀成形尤为重要。

5）塑性应变比 r 值：由于冷轧钢板各项性能不同，r 值代表钢板拉深时，宽度方向和厚度方向应变比值。r 越大，表示材料越不易在厚度方向发展变形，深冲性能越好。

除了以上几种主要的力学性能，常见的还有杯突值（IE）。杯突值用于评价板料的拉胀性能。杯突值越大，拉胀性能越好。

2. 冲压件的使用性能对冲压材料性能的要求

使用性能是指机械零件在服役条件下所表现出来的力学、物理和化学性能。使用性能是选材时最主要的考虑因素。不同零件的使用性能也不一样，在选材时，首要任务是准确地判定零件的主要使用性能。

选定冲压材料时，一般应根据零件成形的难易程度，选择具有相应成形能力的材料。如果所选材料与零件形状、冲模设计和加工条件不相适应，则会将产生断裂、折皱、成形不完整（气眼、凸包、回弹）等缺陷。

农机冲压件主要以车身覆盖件、驾驶室白车身、车箱及发动机用的覆盖件为主，还有一些支承件与连接件。每个具体的汽车零部件的使用和工作条件以及承受的负荷不同，因此对用材的要求也有很大的差异。

（1）驾驶室冲压件用钢板及型钢　驾驶室车身蒙皮大多都是外覆盖件，外形、成形复杂，采用模具成形工艺，材料的成形性能则为主要矛盾，因此要求材料具有成形性、张紧刚

性、延伸性、抗凹性、耐蚀性和焊接性等。产品设计时，通常根据板制零件受力情况和形状复杂程度来选择钢板品种。一般选用拉深性能优良的低碳冷轧钢板。

驾驶室或安全架所用型钢承担着整机的安全性能，外形虽然简单，可采用弯管或模具拉弯成形，但材料的强度要求较高。产品设计时，通常选用屈服强度较高和截面形状适合的管材。

（2）冲压结构件用钢板　因结构用零件材料较厚，所以一般采用热轧钢板，除了要求有强度性能外，还要求有良好的冷弯性能。一些用于支承和连接的零部件，都是重要的承载件，大多采用模具成形工艺，要求材料有较高强度和较好塑性，以及疲劳耐久性、碰撞能量吸收能力和焊接性等。一般选用成形性能较好的优质碳素结构钢。

（3）箱体冲压件用钢板　车箱零件形状不太复杂，大多采用辊压成形工艺，对材料的成形性、刚性、耐蚀性和焊接性都有一定的要求。一般选用成形性能和焊接性较好的高强度钢板。

（4）钢轮毂车轮用钢板　农机大量使用钢轮毂车轮。这种钢轮毂车轮由轮辋和轮辐组成，轮辋是使用异形断面的热轧型钢制造或钢板滚压成形的，轮辐是使用热轧钢板冲压成形的。成形车轮用的钢板对厚度公差和热轧钢板的表面质量有严格要求，对抗拉强度和冷弯性也有一定要求，因为这些因素对车轮的使用寿命有很大影响。

3. 冲压工艺对冲压材料性能的要求

冲压工艺一般分为分离工序和成形工序，按加工工序冲压件大致可分为冲裁件、弯曲件、拉深件、成形件和冷挤压件。冲压件的结构类型不同，对材料力学性能的要求也不同。在选择冲压材料时，首先根据冲压件类型和使用特点，选择具有不同力学性能的金属材料，以达到既能保证产品质量，又能节约材料的目的。

4. 焊接工艺对冲压材料的要求

金属材料的焊接性主要决定于化学成分，也决定于焊接工艺条件及结构刚性。不同的焊接工艺对材料性能及焊接规范有不同的要求。因此，需要进行焊接加工的冲压件选材时，应考虑材料的焊接性。

5. 机械加工工艺对冲压材料性能的要求

农机冲压件中有许多零件在冲压成形以后还需要进行机械加工，如驾驶室白车身、安全架、隔板上的各种管子、离合器制动盘以及液压泵上的一些零件等。因此对这些零件选材时，应考虑机械加工对材料的要求。

6. 涂装工艺对冲压材料的要求

涂装质量直接影响产品外观的质量，除了涂装材料本身的影响外，钢板、型材的涂装性能也是涂装工艺不可忽视的因素。一般来说，影响钢板涂装性能的主要因素有材料表面状态、清洁度和表面粗糙度。材料表面状态和钢板清洁程度直接影响油漆附着力和油漆外观质量，而表面粗糙度主要影响其表面的鲜映性。一般农机冲压件涂漆要求：钢板表面无明显划伤、凹坑、麻点等表面缺陷，车身外表面件涂漆要求包括：型材表面均匀，不允许有气孔、凹坑、影响使用的划伤缺陷。

1.4.3　农业机械冲压用材料的选用

冲压所用材料的性质与冲压生产的关系非常密切，其性质直接影响冲压工艺设计、冲压件质量和产品使用寿命，还影响均衡生产和冲压件生产成本。在选定冲压件材料时，不仅要考虑使用性能，还应满足冲压加工和后续工艺性能要求。冲压加工对材料的基本要求包括：

①具有良好的冲压成形性能。对于成形工序，如拉深、弯曲等，材料应具有良好的冲压成形性能，即应有良好的抗破裂性、良好的贴模性和定形性，否则零件容易变形、破裂等，造成修模的困难，对于分离工序，则要求材料具有一定的塑性。②具有较高的表面质量，材料表面应光洁平整，无缺陷损伤。表面质量好的材料，成形时不易破裂，不易擦伤模具，制件的表面质量也好。③材料的厚度公差应符合国家标准，因为一定的模具间隙仅适用于一定厚度范围的材料，若材料厚度公差太大，不仅直接影响制件的质量，还可能导致废品的出现。在校正弯曲、整形等工序中，有可能因为厚度偏差过大而引起模具或压力机的损坏。

具体来说，车身外表面构件应选用外观表面特性好的钢板；安全要求、结构强度要求高的构件应选用高强度钢板，同时能减轻质量；形状复杂、深拉深的构件应选用成形性好的钢板。总之，无论选用哪一种钢板，分析其使用成本是非常必要的。因此，钢板材料的选择是一个综合分析、应用的过程。

1.4.4　农业机械冲压材料的发展趋势

在环境保护和安全认证等行业标准日趋普及和节能降耗更为迫切的新形势下，现代农机冲压件材料的应用及发展有下列趋势：

（1）钢材仍占据主导地位，但是占整车的比例将下降　农机冲压使用的高强度钢主要为板材与型材，它取代普通钢板用于车身零件和其他结构件，取得了良好的减轻整机质量的效果，现在驾驶室白车身已经实现了四柱一顶式，同时满足防翻的安全性能要求。此外，覆盖件冲压用钢板向深冲性和超深冲性方向发展，以满足车身高质量、流线形、简化冲压工艺和提高生产效率的要求。

（2）轻量化材料的开发与应用是当前汽车材料技术发展的主导方向，轻量化材料的应用范畴正在扩大　车身轻量化一直是农机工业发展的目标，轻量化材料的开发与应用是实现车身轻量化的重要途径。轻量化材料是指能减轻汽车零部件自身质量的材料，早期的轻量化材料主要为密度较小的轻质材料，如铝镁合金、泡沫材料、塑料和复合材料等。近年来，提高减振性能的减振钢板将进入实用阶段，纤维增强复合板材正逐步代替钢板制造车身覆盖件，国内应用较为成熟的有 DCPD 聚合成形件，PMMA + ABS 吸塑件以及工程塑料注塑件等用于制造大型的覆盖件。

（3）材料技术与产品设计、制造工艺的结合将更为密切　从技术经济角度来讲，农机零部件的多种材料设计、部件零件化（减少零件设计）的发展趋势，在客观上促使了材料与设计、工艺的紧密结合；而随着 CAD、CAPP、CAM 的出现，零件设计、材料与制造工艺之间的界限也越来越淡化，逐步成为一体；同时，随着世界经济全球化进程的不断加快，农机行业的竞争越演越烈，农机制造商面临的成本压力也越来越大，从而也要求将设计、材料与制造工艺作为一体进行综合考虑，以谋求总体效益的最大化。

（4）遵循与环境协调发展的原则　由于人类社会发展所导致的环境问题日趋严峻，世界各国对汽车材料的环保问题高度重视，制定了大量与之有关的法律法规，与环境的协调发展已成为农机材料技术必须遵循的一项基本原则。现今环保理念已渗透到从材料开发、零部件设计到工艺边角余料及废旧零件、车辆回收再生的各个环节。发达国家正逐步淘汰或已不再使用容易对环境造成污染的材料，如采用玻璃纤维、碳纤维等环保用于复合材料的加强。

从发展车身新材料来说，以下三点尤为重要：①适应整车向智能化、电动化方向发展的

基本要求，大力开发新型材料；②围绕整车低能耗、低排放的要求，开发新型结构材料和功能材料；③跟踪世界先进的汽车新材料的发展趋势，通过优先发展汽车新材料来提高材料工业的整体水平，以此提高农机工业车身制造水平。

1.5 农业机械冲压工艺及其发展

1.5.1 农业机械冲压工艺技术概述

农业机械起源很早，但冲压技术的真正发展始于汽车的工业化生产。20 世纪初，美国福特汽车的工业化生产大大推动了冲压技术的研究和发展。20 世纪对冲压技术的掌握基本上是经验型的。20 世纪 60 年代是冲压技术发展的重要时期，各种新的成形技术相继出现。(FLD 成形极限图) 的提出，推动了板材性能、成形理论、成形工艺和质量控制的协调发展，成为冲压技术发展史上的一个里程碑。20 世纪 80 年代有限元方法及 CAD 技术的先期发展，使 20 世纪 90 年代以数值模拟仿真为中心的和计算机应用技术在冲压领域得以迅速发展并走向实用化，成为材料变形行为研究和工艺过程设计的有力工具，冲压技术真正进入了分析阶段，传统的板成形技术开始从经验走向科学化。农业机械冲压工艺借助汽车工业力量，基本同步发展。总结 20 世纪冲压技术的发展历程，具有以下特征：

1） 冲压性能的研究和改进是与冲压技术的发展相辅相成的。

2） 汽车工业的飞速发展和能源因素都是冲压技术发展的主要推动力。进入 21 世纪以来，环境因素及相关的法律约束日益突出，汽车轻量化设计和制造成为当前的重要课题。

3） 成形过程数字化仿真技术的发展，推动传统冲压技术走向科学化，进入先进制造技术行列。

4） 冲压技术的发展涉及材料、能源、模具、设备等各方面。工艺方法的创新及其过程的科学分析与控制是技术发展的核心；模具技术是冲压技术发展的体现，是决定产品制造周期、成本、质量的重要因素。

农业机械产品造型与外观质量和冲压技术联系密切，车身覆盖件、驾驶室白车身、顶棚、挡泥板发动机的排气歧管、消声器、机罩支架、车梯踏板以及其他的框架结构件等，都是经冲压成形技术完成的，冲压零件的制造工艺水平及质量，直观上对用户造成视觉冲击，且很大程度上对农机制造质量和成本有直接的影响。

1.5.2 农业机械冲压工艺技术的发展

随着近代农机的发展，对农业机械冲压技术提出了越来越高的要求，因而也促进了冲压技术的迅速发展。

1. 冲压工艺方面

提高劳动生产率及产品质量、降低成本和扩大冲压工艺应用范围的各种冲压新工艺和新技术是研究和发展的主要方向。目前，精密冲裁（简称精冲）、柔性模具拉深，电磁成形、超塑性成形等在冲压生产中已得到广泛应用。

2. 冲压模具方面

冲模是冲压生产的基本条件。在冲模的设计和制造上，当前主要向两个方面发展：①为适应高速、自动、精密、安全等大批量现代化生产的需要，冲模正向着高效率、高寿命、自

动化方向发展；②为了产品更新换代和试制或小批量生产的需要，锌基合金模、聚氨酯橡皮模、薄板冲模、钢带冲模、组合冲模等各种简易冲模及其制造工艺也得到迅速发展。模具的标准化和专业化生产，已得到模具行业的广泛重视。模具计算机辅助设计、制造与分析（CAD/CAM/CAE）的研究和应用，将极大地提高模具制造效率与模具质量，使模具设计与制造技术实现 CAD/CAM/CAE 一体化。

3. 冲压设备和冲压生产自动化方面

性能良好的冲压设备是提高冲压技术水平的基本条件。高精度、高寿命、高效率的冲模需要高精度、高自动化的压力机与之匹配。目前主要从两方面出发：①对目前我国大量使用的普通冲压设备加以改进，即在普通压力机的基础上，加送料装置和检测装置，以实现半自动化或全自动化生产，改进冲压设备结构，保证必要的刚度和精度，提高其工艺性能，来提高冲压件精度，延长冲模使用寿命；②积极发展高速压力机和多工位自动压力机，开发数控压力机、冲压柔性制造系统（FMS）及各种专用压力机，以满足大批量生产的需求。

为了满足大量生产的需求，冲压生产已向自动化、无人化方向发展。现在已经利用高速冲床和多工位精密级进模实现了单机自动生产，冲压的速度可达每分钟几百至上千次。大型零件的生产已经实现多机联合生产线，从板料的送进到冲压加工再到最后检验可全由计算机控制，极大地减轻了工人的劳动强度，提高生产效率。目前已逐渐向无人化生产形成地柔性冲压加工中心发展。

1.6　农业机械冲压模具及其发展

1.6.1　传统冲压模具的组成与分类

传统冲压模具工装技术中，模具是单一产品、大批量生产的专用工装，是保证产品质量及提高生产效率的重要手段，即每一种冲压制件，都是由确定的专用模具来保证的。一般冲压模具由工作零件、定位零件、压料、卸料、顶料零件、导向零件、紧固零件、缓冲零件和安全零件及其他辅助零件组成。

工作零件：包括凸模和凹模等零件。定位零件：主要包括挡料销、定位销、测刃等零件。压料、卸料、顶料零件：主要包括卸料板、顶料器、气动顶料装置等。导向零件：包括导柱、导套、导板等零件。支持零件：包括上、下模板和凸、凹模固定板等零件。紧固零件：包括内六角圆柱头螺钉、卸料螺钉等零件。缓冲零件：包括卸料弹簧、橡胶弹性体和气缸等。安全零件及其他辅助零件：主要有安全侧销、安全螺钉、工作限制器、存放限制器、上下料架、废料滑槽、起重棒、吊耳等。

冲压模具按制件大小分为：小型、重型、大型和特大型。按工艺用途分为：落料模、成形模、拉深模、修边模、翻边模、钻模和卡板。按材料分为：低熔点合金模，铸铁模和钢板模等。按完成工序数分为：单工序模具、复合模具和级进模。

1.6.2　柔性加工模具系列化

随着市场竞争日趋激烈，产品的更新速度日益加快，新产品成形模具的开发往往成本高、风险大、耗时长、柔性差。因此，迫切需要一种能够降低新产品模具开发成本和风险并缩短研制周期的新技术。柔性模具技术就是为适应这一趋势而发展起来的一种柔性生产技

术。柔性模具技术的基本思想是采用可变形的结构或材料去代替或部分代替传统的刚性模具用于加工制造不同形状的零件。它可以显著降低零件的制造成本，缩短零件的制造周期，是一种越来越受到人们重视的快速制造技术。

随着模具技术的不断创新和发展，市场发展速度与新产品开发的需要，应用传统工艺技术过程和管理理念，已不能满足新形势下生产和管理的要求。柔性化是制造业的总趋势，柔性加工模具是一种迅速适应产品与构件多变性的制造方式。这不仅是市场竞争的需求，也应是成形技术发展的趋势。减少模具的数量也会增加制造的柔性，软模成形（含液压成形、聚氨酯成形及气压成形）可省去凸模或凹模，甚至不用模具的无模胀形已经得到应用，利用可调节的离散化模具成形将会越来越受到重视。

1.7　农业机械冲压装备及其发展

1.7.1　农业机械冲压装备的分类

冲压设备的类型很多，可适应不同的冲压工艺要求。冲压设备是锻压设备的重要组成部分。应用最广泛的是机械压力机中的曲柄压力机、摩擦压力机，其次是液压机。

通用曲柄压力机简称曲柄压力机，它是冲压生产中常用的典型设备。

联合冲剪机是由剪板、型材剪切、冲孔三部分独立工作机构联合组成的机床，可进行板材的剪切，条料的剪断，各种型材的直剪和斜剪，以及板材和型材的冲孔等工作。选用适当刀具，可剪切角钢、槽钢、工字钢，开角口，冲切椭圆、正方、六方、长方及其他特别形状。该压力机具有结构紧凑、一机多能、操作简单和高效可靠等优点。

1.7.2　农业机械冲压装备的发展

冲压生产的工艺和设备正在不断发展，除传统的使用压力机和钢制模具制造冲压件外，液压成形以及旋压成形、超塑成形、爆炸成形、电水成形、电磁成形等各种特种冲压成形工艺也迅速发展，把冲压的技术水平提高到了一个新的高度。特种冲压成形工艺尤其适合多品种的中小批量（甚至是数十件）零件的生产。对于普通冲压工艺，可采用简易模具、低熔点合金模具、成组模具和冲压柔性制造系统等，组织多品种的中小批量零件的冲压加工。

第2章 农业机械中小型件冲压技术

2.1 概述

2.1.1 农业机械中小型冲压件的特点

农业机械中小型冲压件除了具有冲压件的普遍特点外，还具有一些自身特点。

（1）品种多　农业机械中小型冲压件涵盖的范围比较广，从农业机械覆盖件中的加强件到驾驶室中的结构件，从垫圈类的平板件到大、中、小柴油箱等都属于中小型冲压件范畴。如拖拉机的油箱、油底壳、带轮罩和挡泥板、加强筋、车架、横梁、吊耳、加强角板、支架，农用车的驾驶室、货箱、挡风板、板簧座、板簧吊耳以及各种行走机构的钢圈、辐板等。

（2）数量多　冲压件在拖拉机中占有很大比例，在一般拖拉机上有300~600件，占整台拖拉机零件数的35%~50%。每车有一半以上数量的冲压件为中小型冲压件。由于拖拉机上的冲压件种类多、作用大，其质量和生产成本将直接影响拖拉机的质量和生产成本，据资料统计，拖拉机冲压件的生产成本占整台拖拉机的15%~25%。

（3）材料规格多　农业机械中小型冲压件材料厚度范围大，料厚范围基本上在1~12mm，其中以厚板料居多，拉深件的料厚也多在1mm以上。

（4）难易程度不均　农业机械中小型冲压件由于其年产纲领多在10万以内，其冲压工艺性能往往没有汽车件冲压工艺性能良好，难易程度不均，有的零件很简单，如垫板、垫片和一些简单压弯件等，只需要一道或二道工序即可，而有的零件则比较复杂，不仅需要拉深成形，同时需要双动冲压设备，而且工序多，材料利用率低，质量难控制。

（5）尺寸精度要求高、刚度好、强度高　农业机械中小型冲压有相当一部分要求平面度高、尺寸精度高的零件，如发动机气缸盖罩零件，其与缸体配合的平面度公差在0.3mm以下。

2.1.2 农业机械中小型冲压件的主要生产方式

冲压设备加模具是批量生产的主要生产方式；小批量平板类零件可采用数控等离子切割、转塔冲、数控折弯生产方式生产；成形类零件可采用成形模具加工，后续手工修边、敲打等生产方式生产。

农业机械中小型冲压件不仅需要大型双点机械压力机生产线，而且由于其拉深件高度高，也需要大型双动机械压力机。平板类零件因其材料厚等原因，还需要单点闭式压力机。

2.2 农业机械中小型冲压件的分类

2.2.1 按工艺性质分类

按工艺性质分，有冲裁件、压弯件、成形件和拉深件等。

2.2.2 按材料分类

（1）冷板、热板

1）冷板。普通结构钢有：ST12、SPCC；优质碳素结构钢有：ST14、SPCD、SPCE 等。

2）热板。普通结构钢有：Q215、Q235、Q345；优质碳素结构钢有：40、45、65Mn 等。

（2）普通钢板、高强度钢板　高强度钢板有：QSTE340TM、Q345、510L。

2.2.3 按功能分类

1）梁类冲压件：灯架横梁、座椅加强梁、连接梁。

2）加强板件：侧板加强板、上支板、铰链支座加强板。

3）油箱类冲压件：防翻架前半油箱、柴油箱上壳、柴油箱下壳。

4）气缸体类冲压件：三缸气缸盖罩、四缸气缸盖罩、六缸气缸盖罩。

5）空气滤清器类冲压件：滤芯壳体、空气滤芯器支架、空气滤芯器卡圈。

6）水泵、风扇类冲压件：风扇支座、风扇叶片、风扇护罩。

7）水箱类冲压件：水箱护罩底板、水箱护罩顶板、水箱护罩隔板。

8）后桥类冲压件：后桥体盖板检查口盖、后桥体盖板、后桥侧口盖。

2.3 农业机械和工程机械中小型冲压件材料及其发展

2.3.1 中小型冲压件材料的种类

冲压加工用原材料有很多种，它们的性能也有很大的差别，所以必须根据原材料的性能与特点，采用不同的冲压成形方法、工艺参数和模具结构。人们对冲压成形过程中板材毛坯的变形行为有了较为深入的认识，并清楚地建立了由原材料的化学成分、组织等因素决定的材料性能与冲压成形之间的关系，致使原材料生产部门不但按照冲压件的工作条件与使用要求进行原材料的设计工作，而且也根据冲压件加工过程对板材性能的要求进行新型材料的开发工作，这是冲压技术在原材料研究方面的一个重要方向。

中小型冲压件材料主要是普通钢板和高强度钢板。

1. 普通钢板

由于产品使用目的与功能要求不同，在冲压生产中所用的钢板种类与形式也各不相同。

（1）热轧钢板　热轧钢板的供应状态有两种形式。经热轧后直接供应的钢板表面有厚度为 10μm 左右的黑色氧化皮。氧化皮脆而硬，在冲压成形中，尤其是在剥落时，可能损坏模具。为了克服这个问题，钢铁厂也提供经酸洗等表面处理去除氧化皮的热轧钢板。这种钢板表面粗糙，但有利于润滑的优点，可用于成形工序。

热轧钢板不具有冷轧钢板的机构组织，所以它的冲压性能不如冷轧钢板。另一方面，热

轧钢板的厚度与性能波动大，对冲压加工是不利的。除化学成分外，晶粒度的大小对强度、硬化指数 n 值等也有影响。生产中也常用控制晶粒度的方法，对热轧钢板的性能作适当的调整。由于热轧钢板的价格便宜，现在钢铁企业也在开发冲压性能好，可用于深拉深成形的热轧钢板。

（2）冷轧钢板　冷轧钢板表面质量好、冲压性能优异，而且板材的各种性能和厚度精度等都相当稳定，所以它是冲压生产中应用广泛的原材料。调整冷轧钢板的化学成分，控制冶炼、热轧、冷轧与退火过程，可以得到具有各种不同性能的冷轧钢板。冷轧钢板的主要特点是，利用轧制中的变形与退火中的再结晶处理方法，可获得塑性应变比 R 值增大的机构组织，改善冷轧钢板的拉深性能、曲面零件成形时贴模等冲压性能。

冷轧钢板分为非时效型和时效型两种。一般的低碳冷轧钢板退火后在拉伸曲线上具有屈服平台，也就是具有屈服伸长率。其原因是由于 C 与 N 原子的作用而形成的不连续的屈服现象。这种钢板在冲压成形时，会出现破坏表面光滑的滑移线。为了克服这种不良现象，通常在退火后使钢板经历一定压下量的冷轧，即所谓的平整轧制。虽然这种办法十分有效，但是这种效果不能长时间保留，经过一段时间 C 与 N 原子的作用又会在位错周围恢复，这种钢板即为时效型冷轧钢板。用添加 Al 或 Ti 的方法，可完全抑制 C 与 N 原子的位错影响，以致消除时效现象，即保持平整轧制的效果，这种钢板称为非时效型冷轧钢板。当前在冲压生产中大量应用的 08Al 就是这种非时效型低碳冷轧钢板。

2. 高强度钢板

提高钢板的强度，可以在保证钢板构件强度与刚度要求的条件下降低所用钢板的厚度，从而降低结构的重量与成本。因此，研制与生产高强度钢板及其冲压技术是目前国内外学术界十分重视的问题。

2.3.2　中小型冲压件材料的发展趋势

根据使用与制造上的要求，很多冲压用的新型板材应运而生。新型冲压用板材包括：高强度钢板、耐腐蚀钢板、双相钢板、涂层板及复合板材。

（1）高强度钢板　高强度钢板是指对普通钢板加以强化处理而得到的钢板。通常采用金属强化，包括固溶强化、析出强化、细晶强化、组织强化（相变强化及复合组织强化）、时效强化及加工强化等。

高强度钢板的高强度有两方面含义：①屈服强度、抗拉强度高，一般的高强度钢板的抗拉强度为 350 ~ 500MPa，而相应的普通冷轧软钢板的抗拉强度只有 300MPa；②高强度钢板的应用能减轻冲压件的重量，节省能源和降低冲压产品成本。

（2）耐腐蚀钢板　开发新耐腐蚀钢板的主要目的是增强普通钢板冲压件的抗腐蚀能力。它有两类：①是加入新元素的耐腐蚀钢板，如耐大气腐蚀钢板等，我国研制的耐大气腐蚀钢板有 10CuPCrNi（冷轧）和 9CuPCrNi（热轧），其耐蚀性是普通碳素钢板的 3 ~ 5 倍；②是在表面涂或镀一层防腐材料，也是涂层板的一种。

（3）涂层板　在耐腐蚀钢板中，镀覆金属层的钢板属于一种涂层板。因为传统的镀锡板、镀锌板等已不能适应汽车工业、电器工业、农业机械及建筑工业的需要，因此一些新品种的镀层钢板不断被开发出来。在涂层板中，各种涂覆有机膜层的板材具有更好的防腐蚀、防表面损伤的性能，因此正被大量用作各类结构件。

（4）复合板材　涂覆塑料的钢板是一种复合板；不同金属板叠合在一起（如冷轧叠合等）也是一种复合板，或称为叠合复合板。这类复合板材破裂时的变形比单体材料破裂时的变形要大，其基本材料特性值（如 n 值）变大。

2.4 农业机械和工程机械中小型件冲压工艺及其发展

2.4.1 中小型冲压件工艺特点与分类

冲压成形工艺可完成多种工序，其基本工序可分为分离工序和变形工序两大类。

分离工序是使毛坯的一部分与另一部分相互分离的工艺方法。主要有落料、冲孔、切边、剖切、修整等，其中又以冲孔、落料应用最广。变形工序是使坯料的一部分相对于另一部分产生位移而不破裂的工艺方法，主要有拉深、弯曲、局部成形、胀形、翻边、缩径、校形、旋压等。

生产中常将圆柱形凸模胀形、伸长类翻边（包括扩孔）、拉深以及弯曲视为四种最典型、最常用的冲压成形方式，而一些比较复杂的冲压成形方式经常可视为它们之中的两个或两个以上的复合。

胀形、扩孔、拉深以及弯曲视为典型冲压成形方式的原因之一，但更重要的是它们之间可用一定的参数联系起来，随着参数改变，成形方式与会发生变化。

如果在凸模直径为 d_p 的拉深模上，逐渐增大毛坯直径 D 进行冲压，只要 d_p/D 不小于极限拉深系数，毛坯就能拉深成直壁筒，并且 D 越大，圆筒越高（见图 2-1），同时冲压力也随着增大。一旦毛坯直径 D 使 d_p/D 小于极限拉深系数，冲压力就会超过筒壁强度而导致零件破裂，致使材料不能完全进入凹模，成形高度骤然下降，此时的零件成为一个带法兰的圆筒（见图 2-1）。筒壁的形成一方面是因为毛坯直径收缩向凹模内流动，另一方面是因为凸模下面的材料在双向拉应力作用下，其厚度减薄和表面积增大，从而使成形方式由单纯的拉深转变成“拉深—胀形”复合方式。进一步增大 D，使 d_p/D 小于一定数值（如图 2-1 中 $d_p/D<0.25$），则毛坯的成形方式将发生质变。此时，由于凹模孔以外的毛坯法兰宽度比凸模直径 d_p 大得多，冲压时凸模很难把它们拉入凹模，即法兰直径不再收缩，毛坯的主要变形区由法兰处转移到中部，变形范围基本上限制在凹模圆角以内，变形区材料受单向或双向拉应力作用，零件成形完全依靠变形区材料的厚度减薄和表面积增大来实现，成形后零件外缘直径仍等于 D，但中间出现一个凸包，所以零件已由拉深完全转变为胀形（见图 2-1）。

类似上述情况，采用直径为 D，但中间带一个圆孔的环形毛坯进行冲压，由于破裂形式不同，成形方式将随着参数 d_0/d_p（d_0 是圆孔直径）改变而发生变化，如图 2-2 所示。

2.4.2 中小型冲压件工艺性的一般要求

1. 冲裁件的工艺性分析

冲裁件的工艺性是指冲裁件对冲裁工艺的适应性，即冲裁件的形状结构、尺寸大小及偏差等是否符合冲裁加工的工艺要求。冲裁件的工艺性是否合理，对冲裁件的质量、模具寿命和生产率有很大影响。

2. 弯曲件的工艺性

弯曲件的结构应具有良好的工艺性，这样可简化工艺过程，并可提高弯曲件的公差等

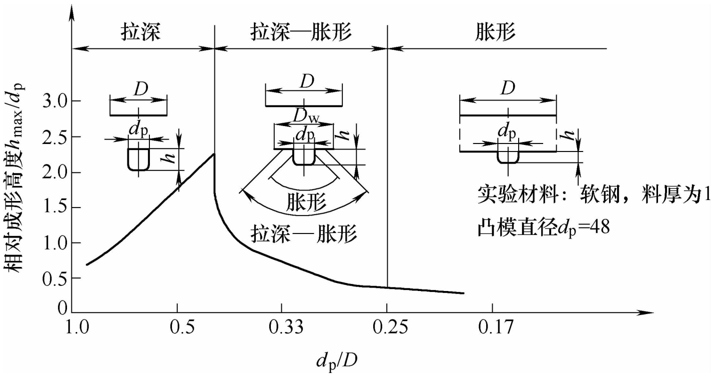


图 2-1　毛坯尺寸对成形高度和成形方式的影响

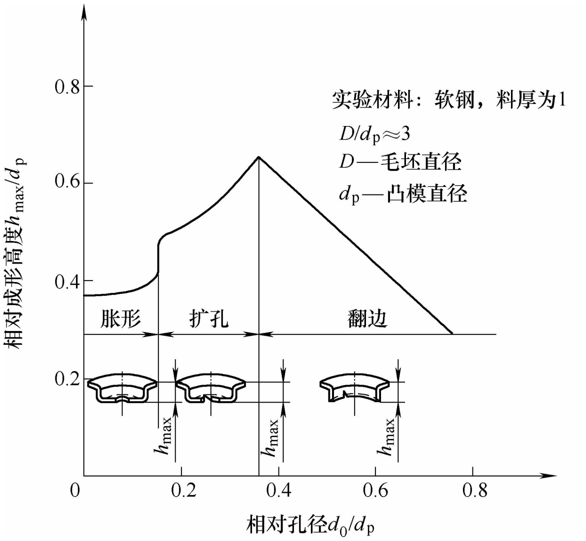


图 2-2　毛坯孔径对成形高度和成形方式的影响

级。弯曲件的工艺性分析是根据弯曲过程的变形规律，并总结弯曲件实际生产经验提出的。对弯曲件的工艺要求有：弯曲半径应大于最小弯曲半径；弯曲件形状应尽量对称；对于带孔的弯曲件，若先冲孔再将毛坯进行弯曲，则孔的位置应处于弯曲变形区外；弯曲件尺寸的标注，弯曲件的公差等级等。

3. 拉深件的工艺性

拉深件形状应尽可能避免急剧转角或凸台。拉深高度应尽可能小，以减少拉深次数，提高冲压件质量。拉深件的形状应尽量对称，轴对称拉深件在圆周方向上的变形是均匀的，模具加工也容易，其工艺性最好，其他形状的拉深件，应尽量避免急剧的轮廓变化。拉深件底部转角和凸缘转角处均应有一定的圆角半径。圆角半径过小时，需要增加整形工序。

2.4.3　中小型冲压件工艺设计方法

1. 冲裁工艺设计

（1）冲裁模的间隙　冲裁模的凸、凹模间隙对冲裁件断面质量有很大的影响。间隙适

中时，上、下裂纹互相重合，冲裁件断面虽有一定斜度，但比较平直、光洁且毛刺很小。国内某大型农业机械企业常用金属材料的冲裁模初始单边间隙值见表 2-1。

表 2-1　国内某大型农业机械企业常用金属材料的冲裁模初始单边间隙值

（单位：mm）

材料	Q235	08	09Mn	08	09Mn	16Mn
料厚	1	1	1	1.2	1.2	1.2
最小间隙	5%/0.05	5%/0.05	5%/0.05	5.5%/0.066	5.5%/0.066	5.5%/0.066
最大间隙	7%/0.07	7%/0.07	7%/0.07	7.5%/0.09	7.5%/0.09	7.5%/0.09
材料	Q235	Q235	08	20	09Mn	16 Mn
料厚	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
最小间隙	5.5%/0.085	5.5%/0.085	5.5%/0.085	5.5%/0.085	5.5%/0.085	5.5%/0.085
最大间隙	7.5%/0.12	7.5%/0.12	7.5%/0.12	7.5%/0.12	7.5%/0.12	7.5%/0.12
材料	08	Q235	Q235	08	10	20
料厚	1.75	2	2	2	2	2
最小间隙	6%/0.11	6%/0.12	6%/0.12	6%/0.12	6%/0.12	6.5%/0.13
最大间隙	9%/0.16	9%/0.18	9%/0.18	9%/0.18	9%/0.18	9.5%/0.19
材料	09Mn	16Mn	50	Q235	Q235	08
料厚	2	2	2.1	2.5	2.5	2.5
最小间隙	6%/0.12	6.5%/0.13	6.5%/0.14	7%/0.18	7%/0.18	7%/0.18
最大间隙	9%/0.18	9.5%/0.19	9.5%/0.2	10%/0.25	10%/0.25	10%/0.25
材料	20	09Mn	16Mn	08	Q235	08
料厚	2.5	2.5	2.5	2.75	3	3
最小间隙	7.5%/0.19	7%/0.18	7.5%/0.19	7%/0.2	7.5%/0.23	7.5%/0.23
最大间隙	10.5%/0.27	10%/0.25	10.5%/0.27	10%/0.28	10.5%/0.32	10.5%/0.32
材料	20	09Mn	16Mn	Q235	Q235	08
料厚	3	3	3	3.5	4	4
最小间隙	8%/0.24	7.5%/0.23	8%/0.24	7.5%/0.27	8%/0.32	8%/0.32
最大间隙	11%/0.33	10.5%/0.32	11%/0.33	10.5%/0.37	11%/0.44	11%/0.44
材料	20	16Mn	Q235	08	20	16Mn
料厚	4	4	4.5	4.5	4.5	4.5
最小间隙	8.5%/0.34	8.5%/0.34	8%/0.36	8%/0.36	8.5%/0.39	7.5%/0.34
最大间隙	11.5%/0.46	11.5%/0.46	11%/0.5	11%/0.5	11.5%/0.52	10.5%/0.48
材料	Q235	08	20	16Mn	08	16Mn
料厚	5	5	5	5	5.5	5.5
最小间隙	8.5%/0.43	8.5%/0.43	9%/0.45	7.5%/0.38	8.5%/0.47	7%/0.39
最大间隙	11.5%/0.58	11.5%/0.58	12%/0.6	10.5%/0.53	11.6%/0.64	10%/0.55
材料	Q235	08	20	16Mn	16Mn	16Mn
料厚	6	6	6	6	6.5	8
最小间隙	9%/0.54	9%/0.54	9.5%/0.57	7%/0.42	7%/0.46	7.5%/0.6
最大间隙	12%/0.72	12%/0.72	12.5%/0.75	10%/0.6	10%/0.65	10.5%/0.84

注：1. 皮革、石棉和纸板的间隙取 08 钢的 20%；纤维板、赛璐珞、夹布胶木取 08 钢的 30%；铜取 08 钢的 40%。
2. 表中百分数为单边间隙值与料厚的百分比。

（2）凸、凹模工作部分尺寸计算及其制造公差　凸、凹模分开加工是指凸模与凹模可以分别按各自的图样加工至最后尺寸。此种方法适用于圆形或形状简单的工件。凸、凹模图样要分别标注凸、凹模刃口尺寸与其制造公差。凸、凹模配合加工，是指先加工凸模（或凹模），然后根据制造好的凸模（或凹模）的实际尺寸，配做凹模（或凸模），在凹模（或凸模）上修出最小合理间隙值。配合加工法在工厂中被广泛采用，适用于形状复杂的冲裁件。

例 2-1　冲裁如图 2-3 所示零件，板厚 $t=1$mm，材料为黄铜（H62）。试计算凸、凹模

尺寸及其制造公差。零件的成形包括冲中心孔和边缘落料两道工序，属于形状复杂的冲裁件，凸、凹模采用配合加工法加工。

解:

(1) 冲中心孔　应以凸模为基准配做凹模。

1) 凸模磨损后尺寸减小的有 A_1、A_2。计算这类尺寸，先把零件图尺寸化成 $d^{+\Delta}_{0}$，这时凸模尺寸按下式计算

$$d_p=(d+x\Delta)^{0}_{-\delta_p}$$

按工件公差等级选取：$x = 0.75$

取 $\delta_d=\delta_p=(1/4)\Delta$

工件尺寸为　$A_1=A_2=20^{+0.21}_{0}\text{mm}$

凸模尺寸及公差为 $d_{p1}=d_{p2}=(20+0.75\times0.21)^{0}_{-0.21/4}\text{mm}=20.158^{0}_{-0.053}\text{mm}$

2) 凸模磨损后尺寸增大的有 B_1。计算这类尺寸，先把零件图尺寸化成 $D^{0}_{-\Delta}$，凸模尺寸按下式计算　$D_p=(D-x\Delta)^{+\delta_p}_{0}$

工件尺寸为　$B_1=8^{0}_{-0.15}\text{mm}$

凸模尺寸及公差为 $D_{p1}=(8-0.75\times0.15)^{+0.15/4}_{0}\text{mm}=7.888^{+0.038}_{0}\text{mm}$

3) 凸模磨损后尺寸不变的有 C_1。计算这类尺寸，先把零件图尺寸化成 $L\pm\frac{\Delta}{2}$的形式，这时凸模尺寸按下式计算　$L_d=L\pm\frac{\delta_d}{2}$或 $L_d=L\pm\frac{\Delta}{8}$

工件尺寸为 $C_1=(5\pm0.15)\text{mm}$

凸模尺寸及公差为

$$L_{p1}=L\pm\frac{\Delta}{8}=\left(5\pm\frac{0.15}{4}\right)\text{mm}=(5\pm0.038)\text{mm}$$

凸模尺寸标注如图 2-4 所示。

间隙查相关表得　$Z_{min}=0.050\text{mm}$；$Z_{max}=0.070\text{mm}$。

凹模按凸模的实际尺寸配做，保证单边间隙为 0.025～0.035mm。

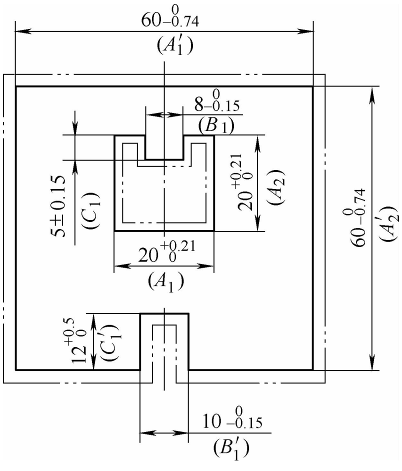


图 2-3　冲裁件

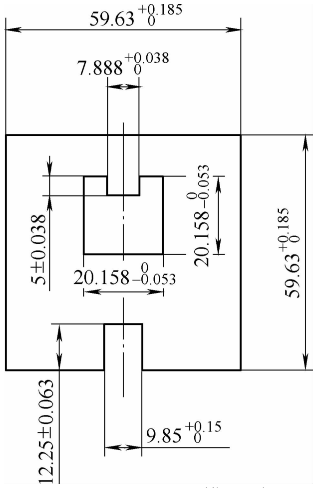


图 2-4　凸、凹模尺寸

（2）边缘落料　应以凹模为基准，然后配做凸模。

1）凹模磨损后尺寸增大的有 A_1'、A_2'。计算这类尺寸，先把零件图尺寸化成 $D_{-\Delta}^{\ 0}$。这时凹模尺寸按下式计算

$$D_d=(D-x\Delta)_{\ 0}^{+\delta_d}$$

按工件公差等级选取：

$$x=0.5$$

取

$$\delta_d=\delta_p=(1/4)\Delta$$

工件尺寸为

$$A_1'=A_2'=60_{-0.74}^{\ 0}\text{mm}$$

凹模尺寸及公差为

$$D_d=(60-0.5\times0.74)_{\ 0}^{+0.74/4}\text{mm}=59.63_{\ 0}^{+0.185}\text{mm}$$

2）凹模磨损后尺寸减小的有 B'_1。计算这类尺寸时，先把零件图尺寸化成 $d_{\ 0}^{+\Delta}$。这时凹模尺寸按下式计算

$$d_d=(d+x\Delta)_{-\delta_d}^{\ 0}$$

工件尺寸为

$$B_1=10_{-0.15}^{\ 0}\text{mm}=9.85_{\ 0}^{+0.15}\text{mm}$$

凹模尺寸及公差为

$$d_{d1}=(d+x\Delta)_{-\delta_d}^{\ 0}=(9.85+0.5\times0.15)_{-0.15/4}^{\ 0}\text{mm}=9.925_{-0.0375}^{\ 0}\text{mm}$$

3）凹模磨损后尺寸不变的有 C_1'。计算这类尺寸，先把零件图尺寸化成 $L\pm\dfrac{\Delta}{2}$的形式，凹模尺寸按下式计算

$$L_d=L\pm\frac{\Delta}{8}$$

工件尺寸为

$$C'_1=12_{\ 0}^{+0.5}\text{mm}=(12.25\pm0.25)\text{mm}$$

凹模尺寸及公差为 $L_{p1}=L\pm\dfrac{\Delta}{8}=\left(12.25\pm\dfrac{0.25}{4}\right)\text{mm}=(12.25\pm0.063)\text{mm}$

凹模尺寸标注如图 2-4 所示。凸模按凹模的实际尺寸配做，保证间隙为 0.025～0.035mm。

2. U 形连接架弯曲工艺设计

（1）连接架冲压工艺性分析　图 2-5 所示为连接架，材料为 Q235A，厚度为 10mm，年产量近 4 万件。连接架零件是一个典型的 U 形成形压弯件，外观平整是该零件需要保证的重点。连接架的形状及尺寸公差等级满足冲压成形方法生产。

（2）确定工艺方案　首先根据零件形状确定冲压工序类型和选择工序顺序，对于此零件，需要的基本工序有：修边冲孔→成形→压弯→整形。其中成形和压弯工序决定了零件的总体形状和尺寸。

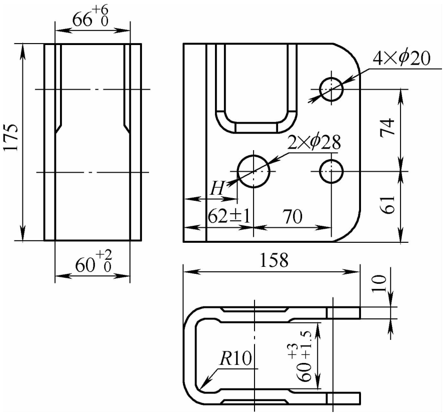


图 2-5　连接架

（3）主要工艺参数确定

1）毛坯展开尺寸。压弯工序的最终毛坯尺寸由调试决定，最初展开尺寸依据零件图通过查工具书分段计算，如图 2-6 所示。对于此连接架，毛坯展开尺寸计算过程为

$$L=2a+b+\alpha(r+kt)$$

式中　L——压弯件的展开长度（mm）；

a、b——零件的直线部分长度（mm）；

r——弯曲内圆角的半径（mm）；

α——圆弧的中心角（rad）；

t——零件材料厚度（mm）；

k——中性层的位移系数，其数值通过查工具书得到。

将 $a=138\text{mm}$，$b=46\text{mm}$，$r=10\text{mm}$，$t=10\text{mm}$，$\alpha=\pi$，$k=0.44$ 代入上式中可以得到初步展开尺寸为 $L=[2\times138+46+\pi(10+0.44\times10)]\text{mm}=367\text{mm}$。

另一方向尺寸直接选取为宽度尺寸，$W=180\text{mm}$。

由此得出连接架最初毛坯尺寸为：180mm×367mm，后期通过调试不断修整，最终确定毛坯尺寸及剪切后毛坯尺寸如图 2-7 所示。

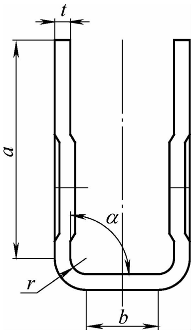


图 2-6　弯曲毛坯展开长度分段计算

图 2-7　毛坯尺寸

2）修边冲孔工序的工艺设计。按该零件图形状，修边冲孔冲裁力计算公式为

$$P=LtR_m$$

式中　P——冲裁力 N；

L——冲裁外形周长（mm）；

t——材料厚度（mm）；

R_m——材料抗拉强度。

本零件的冲裁力大小为 $P=LtR_m=521\times10\times47\text{N}=244870\text{N}=2448.7\text{kN}$

设备使用工厂现有设备 PKZ630/1000 压力机。

3）成形工序工艺设计。采取一次成形达到该工序零件图要求的高度尺寸，使用工厂现有设备 PKZ400/1000 压力机。

4）压弯工序的工艺设计。通过一次弯曲成形方式达到零件要求的宽度（86mm）和高度（158mm）。用弹顶器、不校正弯曲；弯曲力计算过程如下：

弯曲力经验公式

$$F=F_1+Q$$

$$F_1=\frac{0.7Kbt^2}{r+t}R_m$$

式中　F_1——弯曲力（N）；

K——安全系数，一般取 $K=1.3$；

R_m——材料抗拉强度；

r——弯曲半径（mm）；

b——板料宽度（mm）；

t——板料厚度（mm）；

Q——最大弹顶力，一般取 $0.8F_1$。

根据上式得出连接架的弯曲力为

$F = 1.8F_1 = 1.8 \times 0.7 \times 1.3 \times 180 \times 10^2 \times 47/(10+10)\,\mathrm{N} = 69\,287.4\mathrm{N} = 69.3\mathrm{kN}$

设备使用工厂现有设备 PKZ400/1000 压力机。弯曲后的零件如图 2-8 所示。

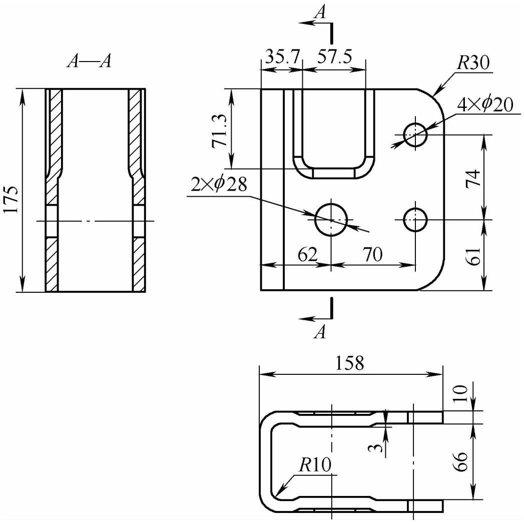


图 2-8　连接架弯曲后形状

5）整形工序主要是用于对压弯工序完成后的零件进行整形，以保证连接架弯曲面平整无扭曲，设备使用工厂现有设备 JB23-63。

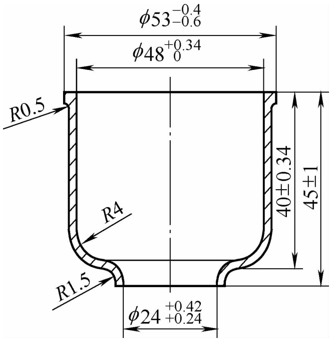


图 2-9　外罩

3. 拉深工艺设计

例 2-2　某零件外罩如图 2-9 所示，材料为 H62 软黄铜，板厚：$t = 1\mathrm{mm}$。该零件由拉深之后切底而成，属于阶梯形拉深件。该零件两阶梯直径之比为：$d_2/d_1 = 24/48 = 0.5$，$(t/D) \times 100 \approx 1.0$

查相应圆筒形件拉深系数得知，该值接近相应圆筒形件的极限拉深值，根据工厂经验，其拉深过程如图 2-10 所示。

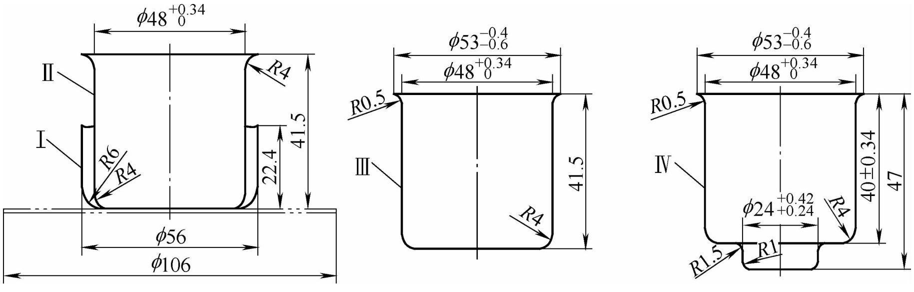


图 2-10　外罩的拉深过程

例 2-3　柴油箱上壳冲压的工艺设计。

1）柴油箱上壳冲压的工艺性分析。图 2-11 所示为柴油箱上壳的零件示意图，材料为冷优薄板 ST14，塑性较好。零件的厚度为 1.2mm，年生产量为 4 万件。零件的形状及尺寸公差等级满足冲压成形方法生产。柴油箱上壳零件是一个典形的盒形拉深件，外观平整是该零件需要保证的重点。

2）确定工艺方案。首先根据零件形状确定冲压工序类型和选择工序顺序。冲压该零件需要的基本工序有剪切→修边→拉深→修边→冲孔。

3）主要工艺参数的计算。

① 毛坯展开尺寸。拉深工序的最终毛坯尺寸由调试决定，最初展开尺寸比照压弯件（查工具书）按图分段计算，如图 2-12 所示，同时考虑拉深筋位置。

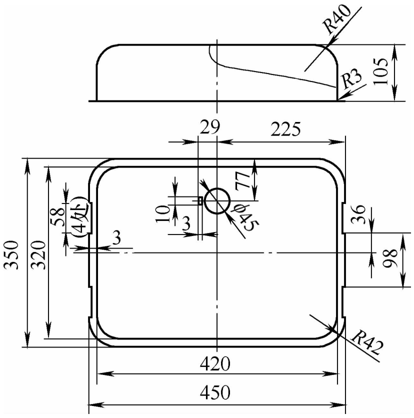


图 2-11　柴油箱上壳的零件示意图

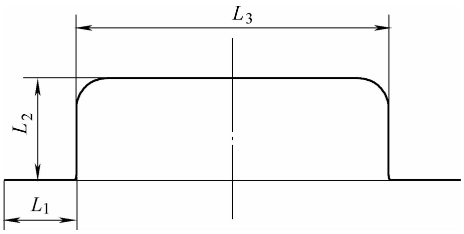


图 2-12　毛坯展开长度按图分段计算

毛坯展开长度按下式计算

$$L = 2L_1 + 2L_2 + L_3$$

其中，$L_1 = 35\text{mm}$，$L_2 = 100\text{mm}$，$L_3 = 420\text{mm}$。

将以上数值代入上式得 $L = (2 \times 35 + 2 \times 100 + 420)\text{mm} = 690\text{mm}$

另一个方向的展开尺寸为 $L = (2 \times 35 + 2 \times 100 + 320)\text{mm} = 590\text{mm}$

由此得出柴油箱上壳零件的最初毛坯尺寸为 690mm × 590mm，通过调试不断修整，最终毛坯尺寸如图 2-13a 所示。

② 拉深工序的工艺设计。采用一次双动拉深成形方式，达到零件要求的长度（420mm）、宽度（320mm）和高度（100mm），法兰边尺寸大于修边尺寸 5 ~ 10mm（周边）（见图 2-13b），设备为工厂现有设备 315t 的双动压力机。

③ 修边工序的工艺设计。按零件图 2-13c 所示形状修法兰边。

冲裁力：$P = L$（修边周长）$\times R_m$（抗拉强度）$\times t$（材料厚度）$= 1619 \times 42 \times 1.2\text{N} = 81.6\text{kN}$

设备使用工厂现有设备 DF400/2800 压力机。

④ 冲孔工序的工艺设计。考虑柴油箱上、下壳共用，通过拆装冲头完成两种零件的冲孔工序，柴油箱上壳按零件图（见图 2-11）形状冲 $\phi 45\text{mm}$ 和 10mm × 3mm 长圆孔，

冲裁力：$P = L \times R_m \times t = 1.94 \times 42 \times 1.2\text{kN} = 98\text{kN}$

考虑连线生产，设备使用工厂现有设备 J36-250 压力机。

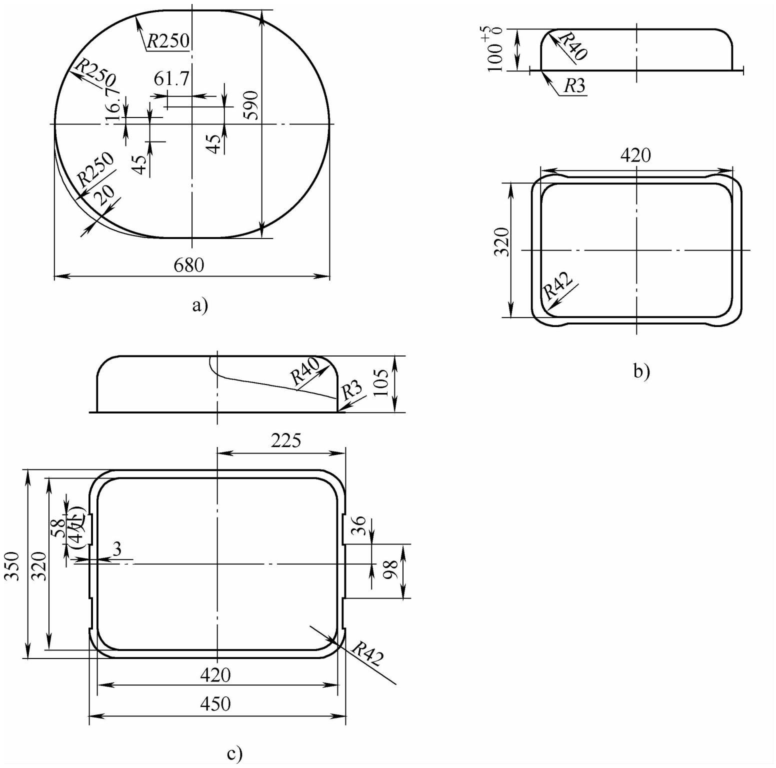


图 2-13　柴油箱上壳工艺

a）修边工序件　b）拉深工序件　c）修边工序件

例 2-4　前半油箱的工艺设计。

前半油箱的材料选用冷优薄板 DC04，塑性较好，适用于拉深、成形。零件的厚度为 1.2mm。零件的形状及尺寸公差等级满足冲压成形方法生产，需要用切角、拉深、修边冲孔、侧冲孔等主要工序，如图 2-14a ~ d 所示。拉深工序的模具装配图如图 2-15 所示，设备型号为 YH28-400/630。

2.4.4　中小型冲压件工艺发展趋势

板料成形过程是一个非常复杂的塑性成形过程，许多因素都直接或间接地影响到成形件的质量。如果工艺参数、几何参数以及材料等选择不当，易产生起皱、破裂和回弹等缺陷。传统的工艺分析和模具设计主要依靠设计者的经验，需要反复修改各种参数并进行修模，其耗时长，成本高，难以适应现代工业的要求。随着计算机技术和数值计算方法的发展，数值模拟技术逐渐成为板料成形分析的一种重要手段。有限元模拟分析已广泛应用于板料成形优化设计中，然而，对有限元分析结果的判断和相关参数的选择依然依赖于经验。而最优化技术的引入，使人们从试错（Trial-error）的工作中解脱出来。在冲压成形优化领域，优化方法可以分为三类：传统优化、启发式优化和近似模型优化。由于板料冲压成形过程是典型的强非线性问题，而传统的优化方法是基于梯度的，对于 Hessian 矩阵为奇异的优化问题，显然难以处理冲压成形优化问题。启发式算法包括遗传算法、粒子群、拟退火等算法，这类算

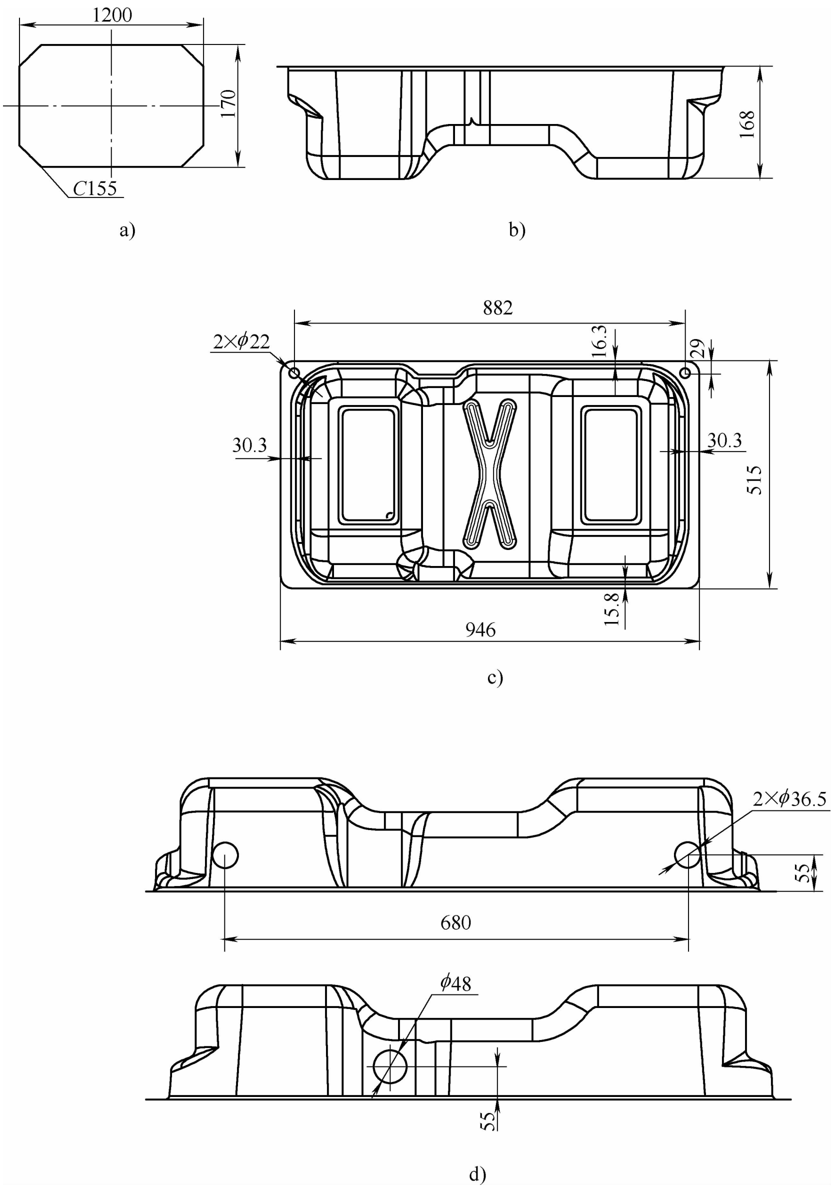


图 2-14　前半油箱的工艺设计

a）切角工序件　b）拉深工序件　c）修边冲孔工序件　d）侧冲孔工序件（成品件）

法可以找到优化问题的全局优化点，可以保证优化的精度和效果。但是，优化求解中需要反复修正 CAE 模型并调用相应的有限元程序，这需要耗费大量的计算资源。随着设计参数数量和复杂度的增加，不仅计算成本会成倍增加，而且计算时间会大幅度增加。基于近似模型的优化方法是求解大型问题最有希望的方法之一，因其高效性而广泛应用于工程优化领域，如果能够高效建立可靠的近似模型，很多大规模的工程问题可以迎刃而解。近年来，随着研究的深入，该技术也大量应用于冲压成形问题的优化，成为目前冲压优化领域的研究热点。

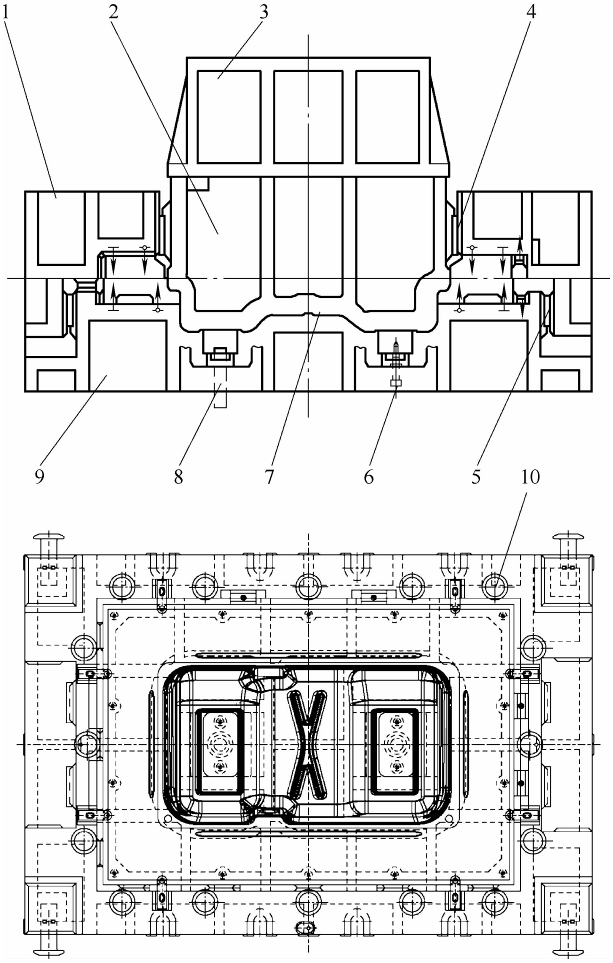


图 2-15　前半油箱拉深模具装配图

1—上底板　2—凸模　3—凸模固定板　4、5—导板

6—特种螺钉　7—凹模　8—托杆　9—下底板　10—限位块

2.5　农业机械和工程机械中小型件冲压模具及其发展

2.5.1　小型冲压件模具特点

冲裁模结构设计是否合理，直接影响到冲裁件的质量与成本。

冲裁件品种繁多，致使冲裁模结构的类型多种多样。为了便于研究，将冲裁模按不同的特征进行分类。

（1）按工序性质分类　有冲孔模、落料模、切边模、切断模、剖切模、切口模、整修模、精冲模等。

（2）按工序的组合分类　有单工序模（又称简单模）、连续模（又称级进模或跳步模）、复合模。

（3）按上、下模间的导向方式分类　有无导向的敞开式模和有导向的导板模、导柱模、导筒模。

（4）按卸料装置分类　有带固定卸料板冲模和弹性卸料板冲模。

（5）按挡料或定料的形式分类　有固定挡料销冲模、活动挡料销冲模、导正销冲模和侧刃冲模。

（6）按凸、凹模选用材料不同分类　有硬质合金冲模、钢结硬质合金冲模、钢皮冲模、橡皮冲模、聚氨酯冲模等。

1. 典型结构

（1）简单模　在压力机的一次行程中只完成一道工序的模具称为简单模。简单模结构简单，容易制造。

副座支板（厚 4mm）冲孔模具装配图如图 2-16 所示。模具工作前，将坯料放入模具，定位销 15 起定位作用，滑块通过模柄 5 带动上模下行，聚氨酯 7 先接触制件；随着上模下行，聚氨酯受压；上模继续下行，在凸模 4 和凹模 12 的共同作用下完成冲孔。滑块回程时带动上模上行，聚氨酯复位将制件卸下；当滑块回到上死点时，取出制件，完成一次行程。

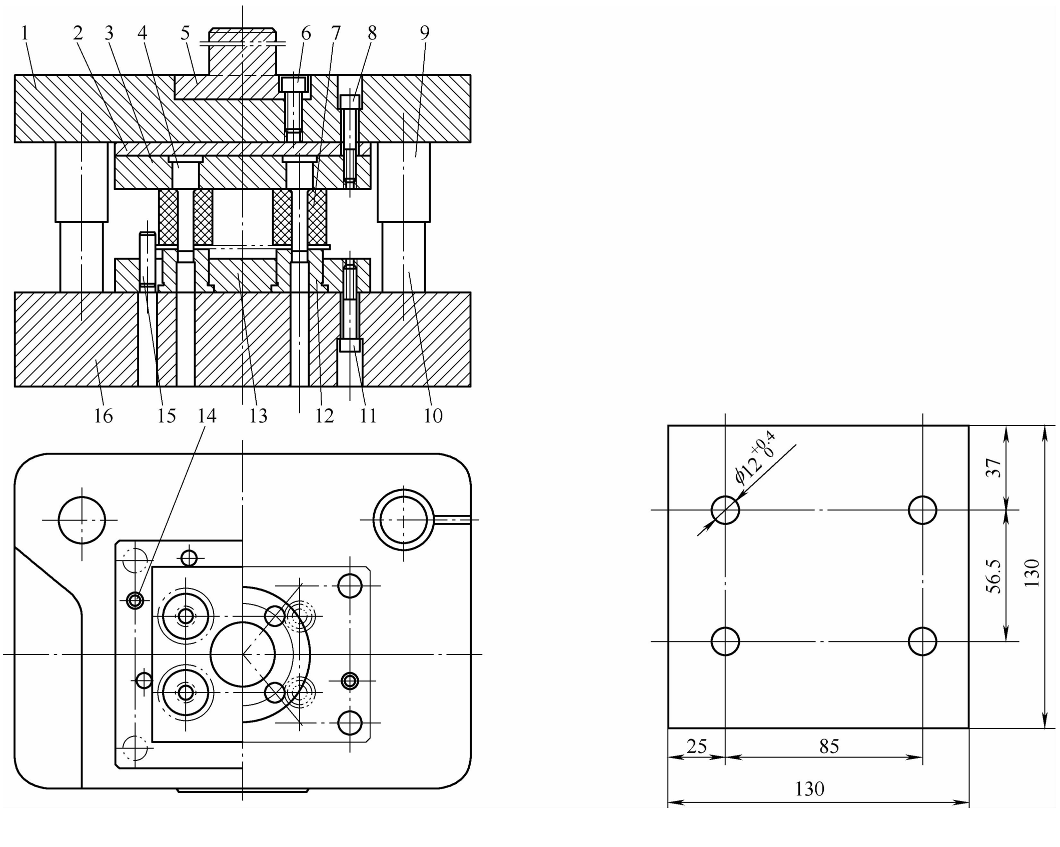


图 2-16　副座支板冲孔模具装配图

1—上底板　2—上垫板　3—凸模固定板　4—凸模　5—模柄　6、8、11—内六角圆柱头螺钉
7—聚氨酯　9—衬套　10—导柱　12—凹模　13—固定板　14—圆柱销　15—定位销　16—下底板

副座支板压弯模具装配图如图 2-17 所示。模具工作前，将制件放入模具，定位销 8 起定位作用，滑块通过模柄 2 带动上模下行，凸模 14 先接触制件；随着上模下行，顶出器 10 受压，迫使小托杆 9 下行；上模继续下行，在凸模和凹模 12 的共同作用下完成压弯。滑块回程时带动上模上行，在小托杆的作用下顶出器复位将制件推出。当滑块回到上死点时，取出制件，完成一次行程。

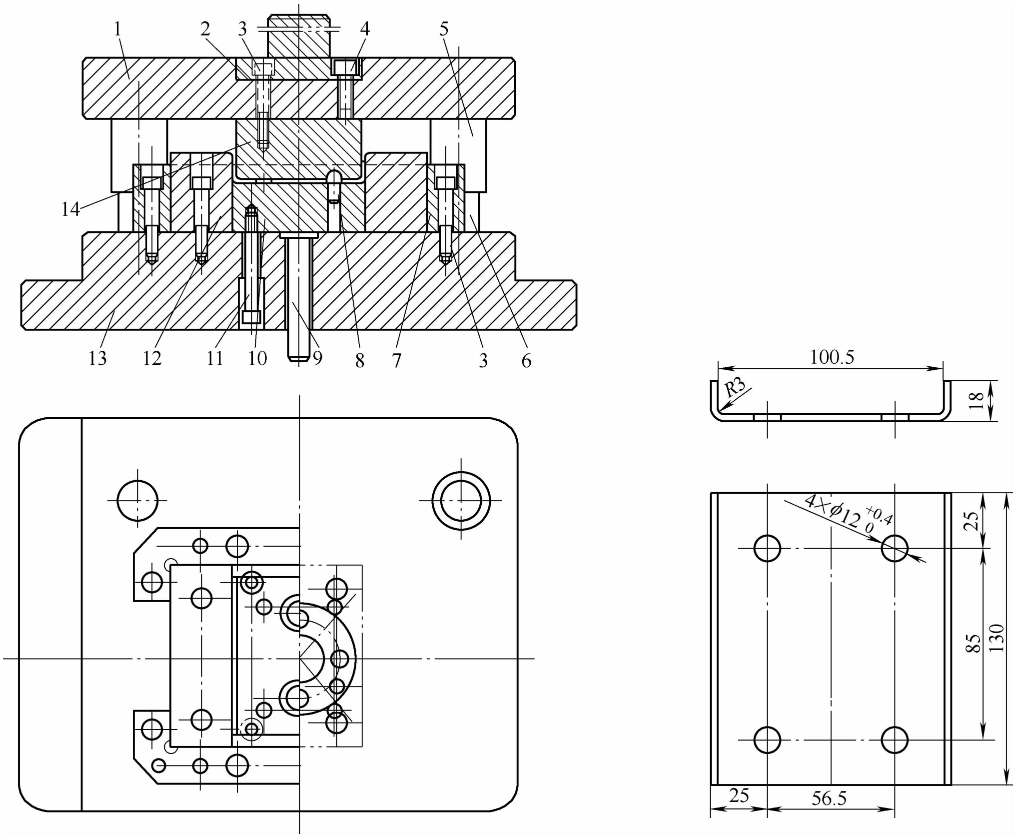


图 2-17　副座支板压弯模具装配图

1—上底板　2—模柄　3、4—内六角圆柱头螺钉　5—衬套　6—导柱　7—凹模固定板
8—定位销　9—小托杆　10—顶出器　11—特种螺钉　12—凹模　13—下底板　14—凸模

吊耳（厚 6mm）落料模具装配图如图 2-18 所示。模具工作之前，将坯料放入模具，定位销起定位作用，滑块通过模柄 8 带动上模下行，在凸模 9 和凹模 10 的共同作用下完成落料。滑块回程时带动上模上行，在固定推料板 3 的作用下完成推料，制件从下模中漏出，完成一次行程。

吊耳冲孔模具装配图如图 2-19 所示。模具工作前，将制件放入模具，定位板 3 起定位作用，滑块通过模柄 10 带动上模下行，推料板 5 先接触制件，随着上模下行，橡胶 16 受压，上模继续下行，在凸模 13 和凹模 2 的共同作用下完成冲孔。滑块回程时带动上模上行，橡胶在复位作用下推料板将制件卸下；当滑块回到上死点时，取出制件，完成一次行程。

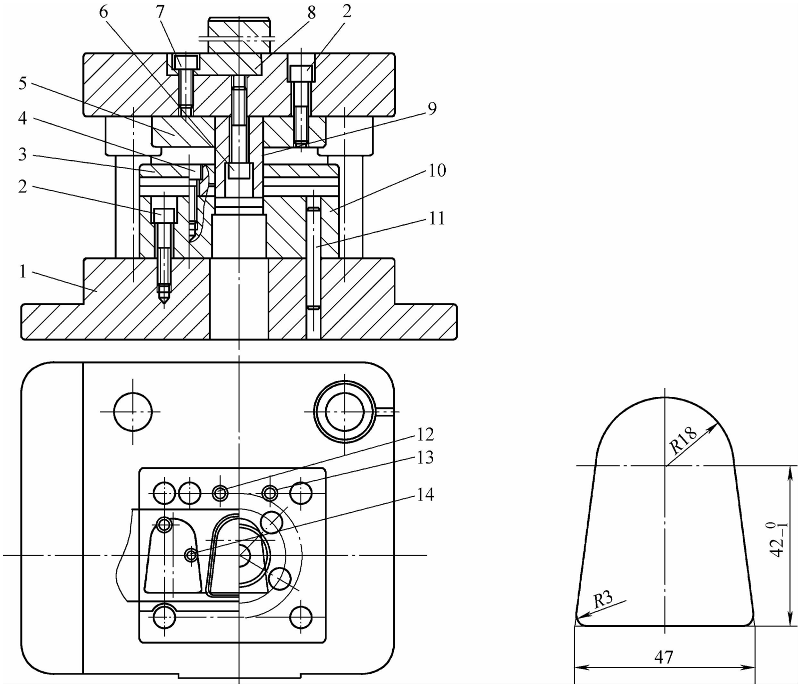


图 2-18　吊耳落料模具装配图

1—模架　2、4、6、7—螺钉　3—固定推料板　5—凸模固定板　8—模柄　9—凸模　10—凹模　11、12、13、14—圆柱销

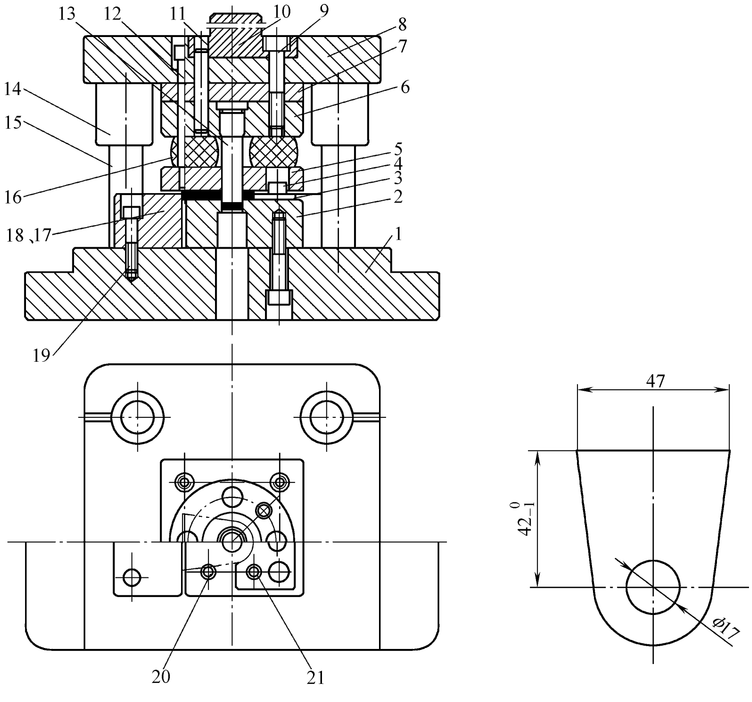


图 2-19　吊耳冲孔模具装配图

1—下底板　2—凹模　3—定位板　4—螺钉　5—推料板　6—固定板　7—垫板　8—上底板　9、19—螺钉　10—模柄　11、20、21—圆柱销　12—特种螺钉　13—凸模　14—导套　15—导柱　16—橡胶　17、18—定位块

（2）复合模　在冲床的一次行程中，模具的同一工作位置同时完成多道冲压工序的冲模，称为复合模。复合模适用于产量大、精度高的冲压件。

轴承盖（厚2mm）落料拉深模具装配图如图2-20所示。模具工作前，将坯料放入模具，定位销起定位作用；滑块带动上模下行，推料板3先接触制件；随着上模下行，弹簧10受压，在凸凹模9和凹模12的共同作用下完成落料，同时顶出器14受压，迫使小托杆15下行；上模继续下行，在凸凹模和凸模16的共同作用下完成拉深。滑块回程时带动上模上行，在小托杆的作用下顶出器复位，将制件从凹模中顶出；上模继续上行，在打杆7的作用下顶出器将制件从9凸凹模中顶出；当滑块回到上死点时，取出制件，完成一次行程。

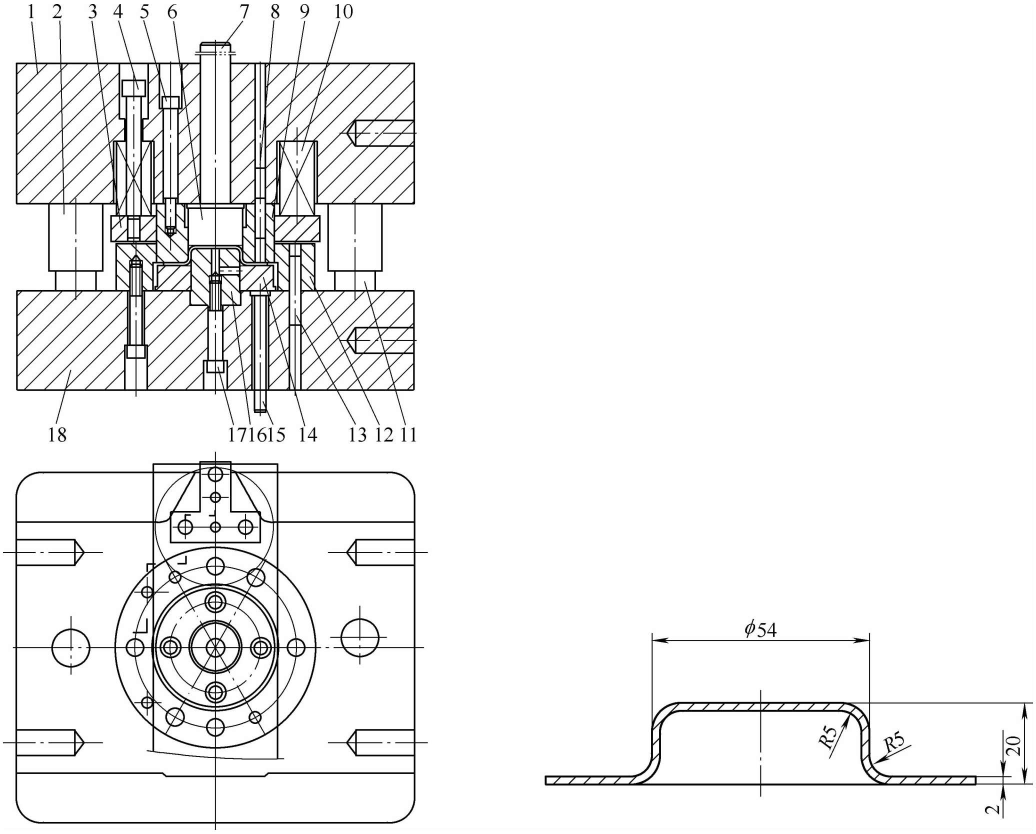


图2-20　轴承盖落料拉深模具装配图

1—上底板　2—导套　3—推料板　4—特种螺钉　5、17—螺钉　6、14—顶出器　7—打杆　8、13—圆柱销　9—凸凹模　10—弹簧　11—导柱　12—凹模　15—小托杆　16—凸模　18—下底板

防尘盖（厚1.5mm）落料拉深冲孔模具装配图如图2-21所示。模具工作前，将坯料放入模具中，定位销19起定位作用；滑块带动上模下行，推料板20先接触制件；随着上模下行，弹簧5受压，在落料凸模17和落料凹模21的共同作用下完成落料，同时推件器22受压，迫使托杆28下行；上模继续下行，在凸凹模25和落料凸模的共同作用下完成拉深。当滑块将要到达下死点时，在凸模12和凸凹模的共同作用下完成冲孔；滑块回程时带动上模上行，在托杆的作用下推件器复位，将制件从凹模中顶出；上模继续上行，顶出销36作用于推板9，通过顶杆8作用于顶出器18将制件从落料凸模中推出；当滑块回到上死点时，取出制件，完成一次行程。

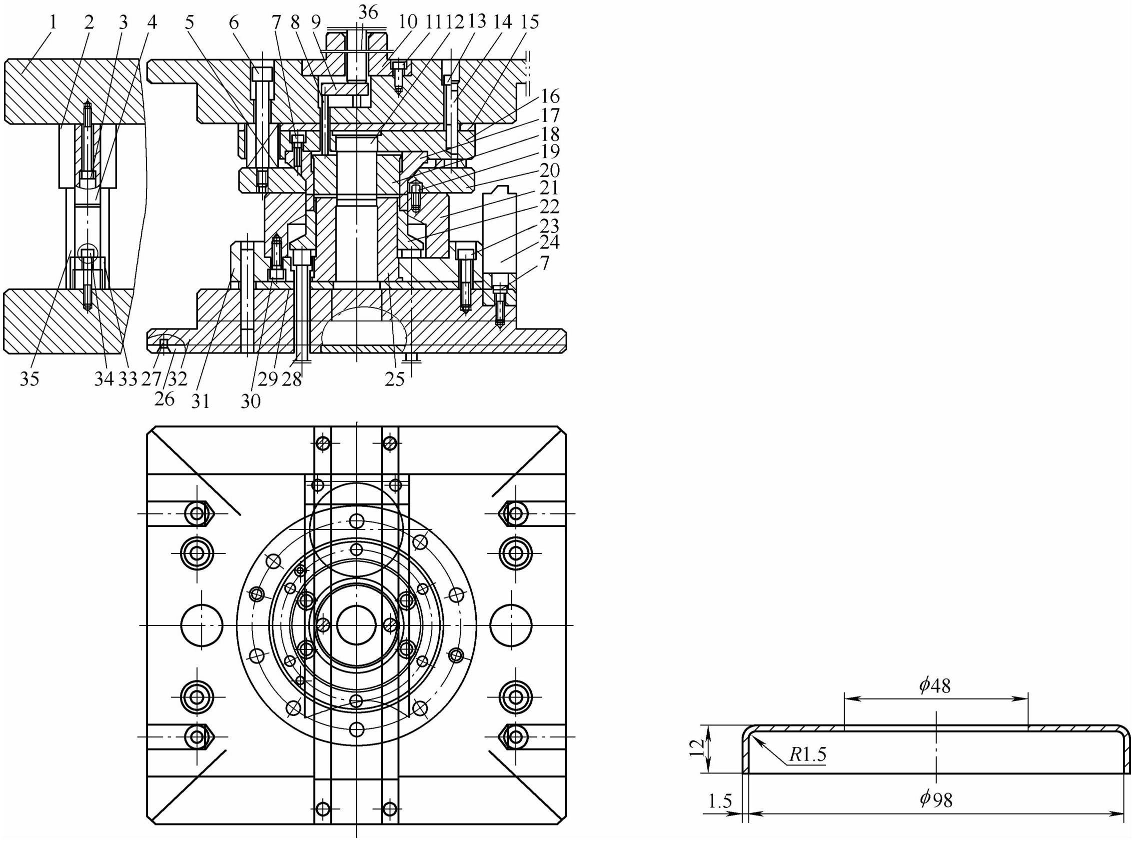


图 2-21　防尘盖落料拉深冲孔模具装配图

1—上底板　2—导套　3、7、11、13、23、30、34—螺钉　4—工作限位器　5—弹簧　6—卸料螺钉　8—顶杆　9—推板　10—模柄　12—凸模　14—圆柱销　15—上垫板　16—上固定板　17—落料凸模　18—顶出器　19—定位销　20—推料板　21—落料凹模　22—推件器　24—定位板　25—凸凹模　26—盖板　27—沉头螺钉　28—托杆　29—下垫板　31—下固定板　32—下底板　33—停放限位器　35—导柱　36—顶出销

（3）连续模　压力机的一次行程中，在模具的不同部位上同时完成数道冲压工序的模具称为连续模，如图 2-22 所示。工作时定位销 2 对准预先冲出的定位孔，上模向下运动，在冲孔凸模 4 的工位上进行冲孔，在落料凸模 1 的工位上进行落料，从而得到成品 8。当上模回程时，卸料板 6 从凸模上刮下毛坯 7，这时将毛坯向前送进一个工位，执行第二次冲裁。循环上述过程，每次送进距离由挡料销控制。

密封罩连续模生产的工序过程如图 2-23 所示。

密封罩级进模最后翻边工序模具图如图 2-24 所示。模具工作前，自动送料机构将制件放入凸凹模 13；滑块带动上模下行，顶销 10 作用于托料板 17，迫使托杆 15 下行；随着上模下行，在凸模 9 和凸凹模的共同作用下，将内孔的边翻直；同时在凹模 11 和凸凹模的共同作用下，将外缘的边翻直。滑块回程时带动上模上行，在托杆的作用下，托料板将制件从凸凹模上推下；上模继续上行，顶出销 5 作用于推板 6，通过推销 7 作用于顶出器 8 将制件从凸模中推出；当滑块回到上死点时，取出制件，完成一次行程。

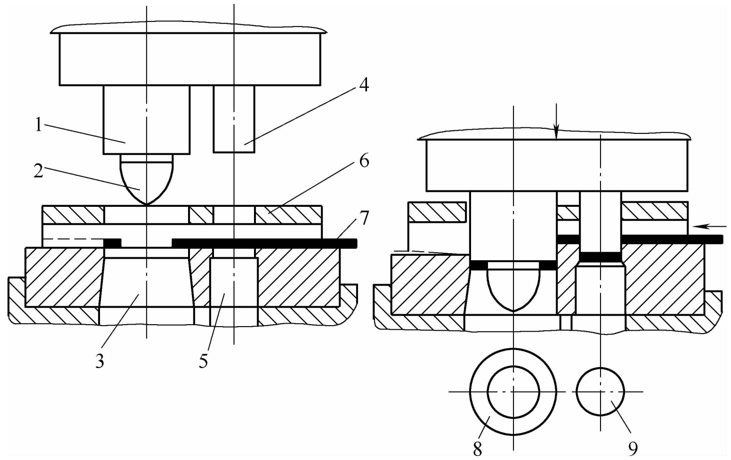


图 2-22　落料冲孔连续模

1—落料凸模　2—定位销　3—落料凹模　4—冲孔凸模
5—冲孔凹模　6—卸料板　7—毛坯　8—成品　9—废料

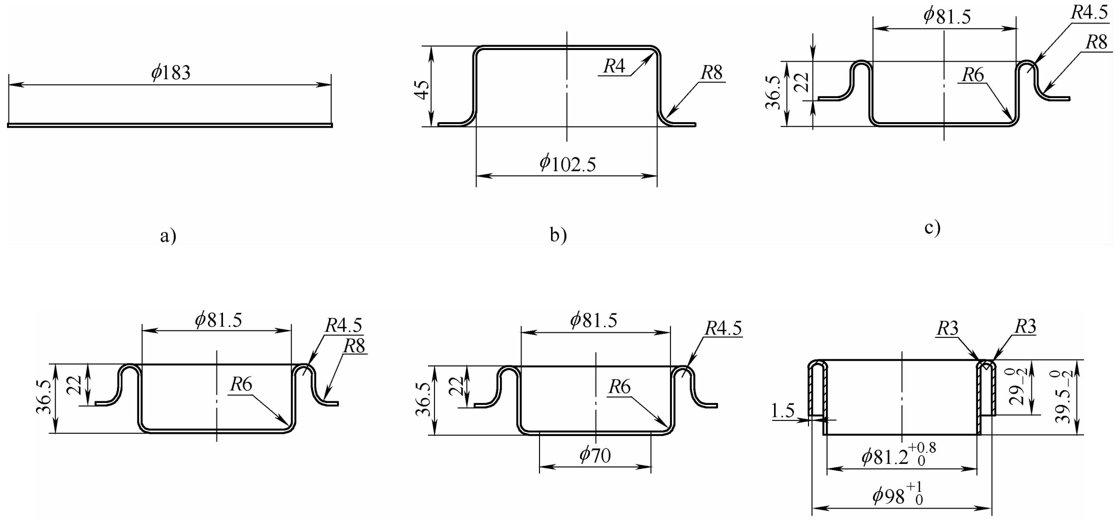


图 2-23　密封罩连续模生产的工序过程

a) 落料　b) 拉深　c) 反拉深　d) 修边　e) 冲孔　f) 翻边

2. 柴油箱上壳拉深模主要模具零件的设计

图 2-25 所示为柴油箱上壳拉深模装配图。操作者将毛坯零件定位，机床外滑块下行，带动压料板 4 下行，压紧半成品零件及凹模 6 后，机床内滑块下行，带动凸模固定板 1 及凸模 5 一同下行，向下成形，顶出器 11 带动小托杆 7 与大托杆 8 下行。顶出器到底及成形到底完成。机床内滑块上行，带动凸模固定板及凸模一同上行。机床外滑块上行，带动压料板 4 上行，压料板脱离半成品零件。机床气垫顶起大托杆，大托杆顶起小托杆，小托杆顶起顶出器。顶出器顶起零件脱离凹模。待机床停稳后，操作者取出半成品零件，工序完成。

图 2-26 所示为柴油箱上壳拉深模压料板的零件图，设计要点：拉深筋中心线与刃口轮廓的边距大于修边轮廓线 20 ~ 25mm。

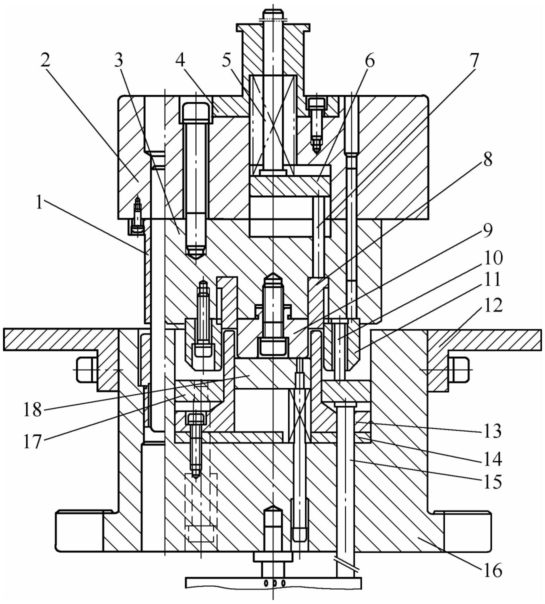


图 2-24　密封罩级进模最后翻边工序模具图

1—限制器　2—上底板　3—固定板　4—模柄　5—顶出销　6—推板　7—推销　8—顶出器　9—凸模　10—顶销　11—凹模　12—支架　13—凸凹模　14—垫板　15—托杆　16—下底板　17—托料板　18—推料板

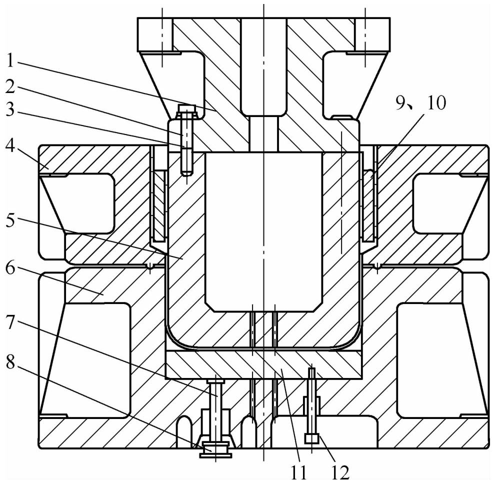


图 2-25　柴油箱上壳拉深模装配图

1—凸模固定板　2—螺钉　3—垫片　4—压料板　5—凸模　6—凹模　7—小托杆　8—大托杆　9—导板　10—螺钉　11—顶出器　12—卸料螺钉

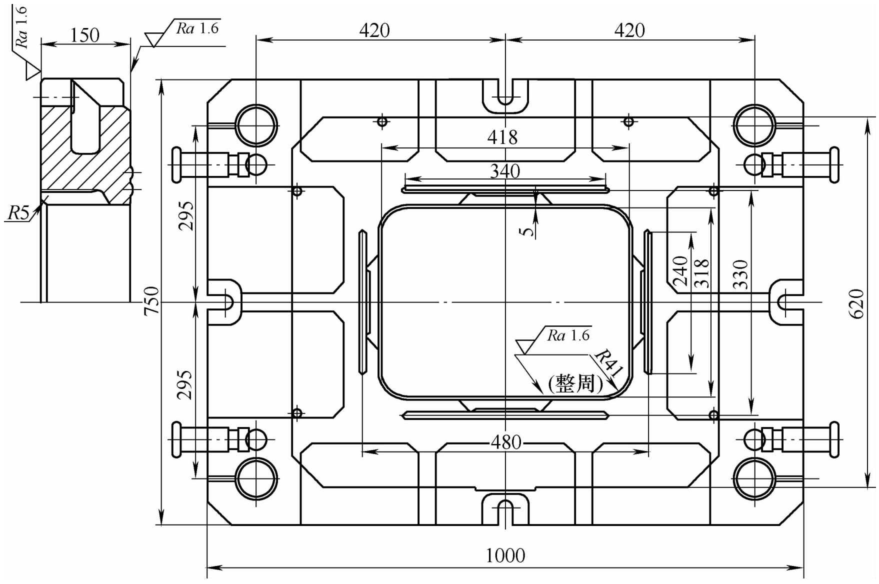


图 2-26　柴油箱上壳拉深模压料板的零件图

图 2-27 所示为柴油箱上壳拉深模凸模的零件图，设计要点：凸模轮廓尺寸标注均为负公差。

图 2-28 所示为柴油箱上壳拉深模凸模固定板的零件图，设计要点：高度尺寸要满足设备安装要求，模具闭合时凸模固定板与压料板的高度差大于 200mm。

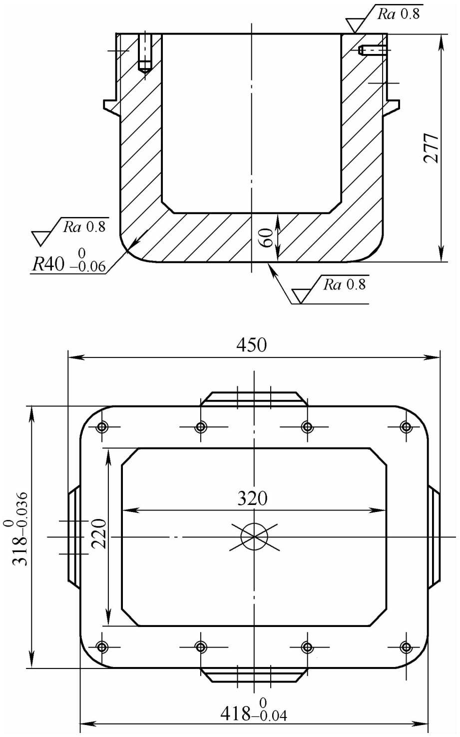


图 2-27　柴油箱上壳拉深模凸模的零件图

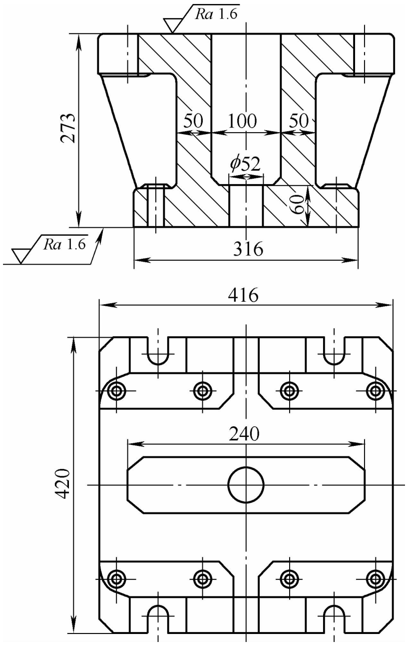


图 2-28　柴油箱上壳拉深模凸模固定板的零件图

图 2-29 所示为柴油箱上壳拉深模凹模的零件图，设计要点：拉深筋中心线与刃口轮廓的边距大于修边轮廓线 20～25mm；刃口圆角小于制件标注尺寸 2～3mm，在模具调整过程中达到制件要求。

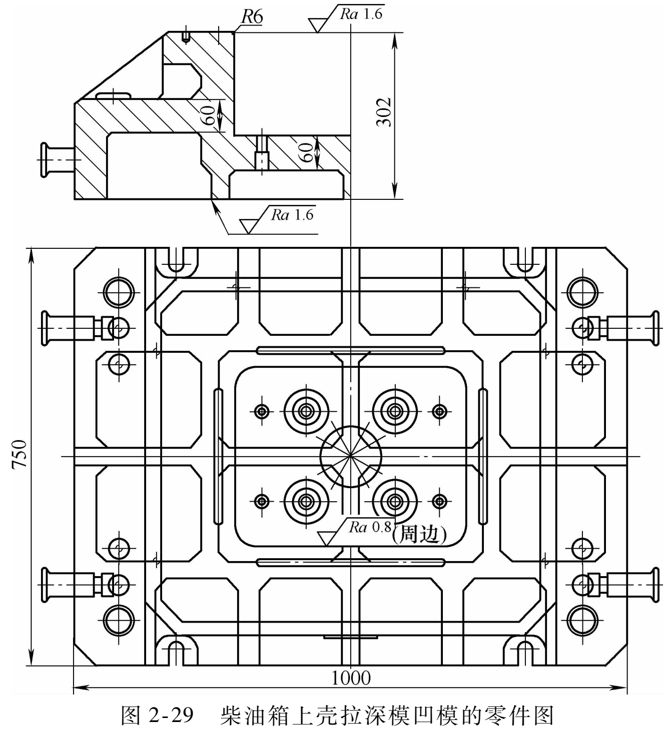


图 2-29　柴油箱上壳拉深模凹模的零件图

3. 模具材料要求

模具材料，尤其是凸、凹模材料，与模具寿命的关系很大，因此，合理选用模具材料是模具设计的一项十分重要的工作。选用凸、凹模材料时，应考虑模具的受力情况、冲压材料性能、冲压件精度以及生产批量等因素。适于制造凸、凹模的材料是很多的，一般来说，对于形状简单、冲压件尺寸较大的模具，常用高碳工具钢（如 T8A、T10A 等）制造。形状较复杂、冲压件尺寸较大的模具，常用合金钢或高速工具钢制造。而冲压件精度或寿命要求较高的高速冲压或精密冲压模具，常用硬质合金、钢质硬质合金等材料制造。

4. 模具加工方法

农业机械中小型冲压模具的加工方法见表 2-2 ~ 表 2-5，加工的相应模具零件如图2-30 ~ 图2-33 所示。

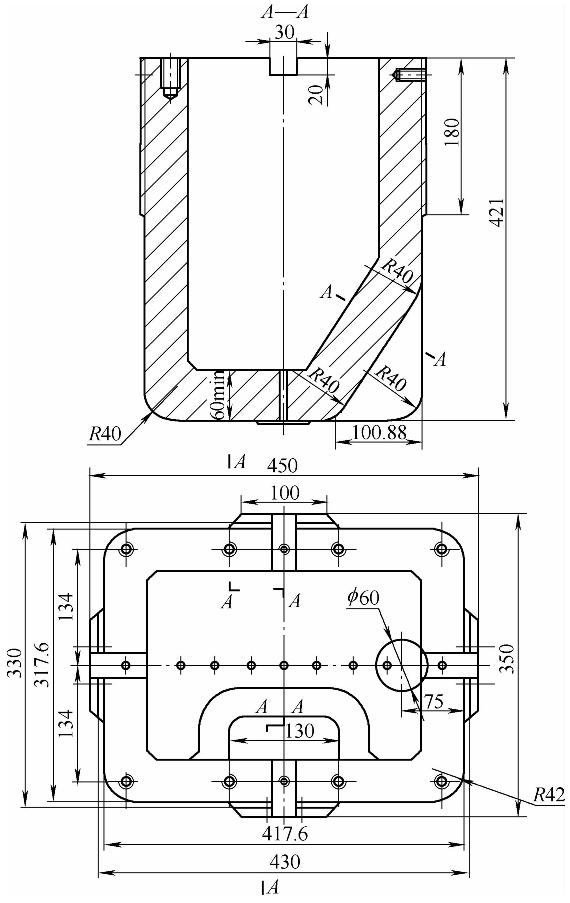


图 2-30　油箱凸模

表 2-2　油箱凸模的加工

序号	工　序　内　容
1	钻 4 个 M12 起吊孔，侧面钻 4 个 ϕ40mm 的孔，夹紧用
2	找正铸件中心线，轮廓余量均布，铣 4 个工艺平台；翻转，找正轮廓
3	铣凸模安装面、键槽到精度，钻镶块螺钉孔
4	钻孔，组装到凸模固定板
5	找正导板面，铣凸模镶块轮廓、型面到精度
6	推光型面，研合轮廓、型面，按要求钻凸模排气孔
7	火焰淬火 50 ~ 55HRC

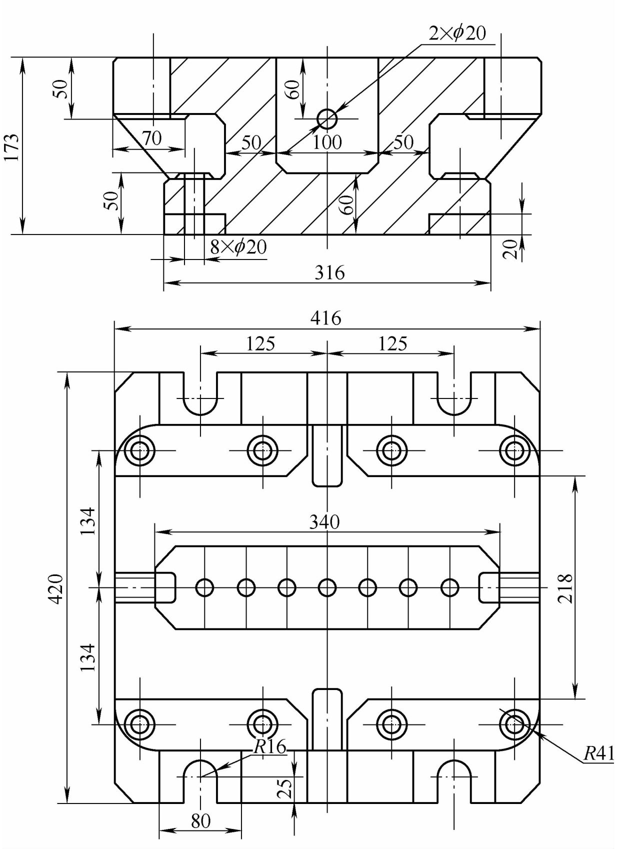


图 2-31　凸模固定板

表 2-3　凸模固定板的加工

序号	工　序　内　容
1	找正铸件中心线,铣底面到尺寸,铣镶块安装台面到精度,卧铣镶块螺钉安装台面到尺寸,平面度公差 <0.05mm
2	找正铸件中心线,导滑面余量均布,铣三销台面到尺寸;钻、镗、铰三销基准孔到精度,打钢印
3	铣导板安装面、键槽到精度,点镶块螺钉孔,铣压板台面到尺寸;铣压板槽到尺寸
4	组装凸模镶块,钻起吊孔
5	找正导板面,铣凸模镶块轮廓、型面到精度
6	推光型面,研合压料面,按要求钻凸模排气孔
7	火焰淬火 50～55HRC
8	精修型面、轮廓并抛光

表 2-4　下模座的加工

序号	工　序　内　容
1	找正毛坯,粗、精铣底面到尺寸,铣镶块螺钉安装台面到尺寸,平面度公差 <0.05mm
2	底面定位找正铸件中心线(偏差小于 2mm),导滑面余量均布,铣三销台面到尺寸
3	钻、镗、铰三销基准孔到精度,并按要求打钢印;铣四角平台到尺寸;铣运输连接板装面到尺寸;铣定位块台面到尺寸
4	铣各墩死块安装面到精度;铣窝座、靠背、安装面、键槽到精度;钻镶块螺钉孔(从本体拔向镶块的)中心孔
5	钻墩死块中心孔;铣压板台面到尺寸;铣压板槽到尺寸
6	组装凹模镶块,做标识,打 M12 起吊孔

（续）

序号	工 序 内 容
7	找正三销基准孔，铣凹模镶块轮廓、型面到精度，铣导板安装面、导滑面及挂台到精度；镗基准孔到精度
8	热处理 58～60HRC
9	钻安全螺钉孔、墩死块孔，推光轮廓、型面，组装导板
10	将压边圈装入下模座，研合、调试，确定定位块位置
11	研合结合面、靠背面，精修型面、轮廓并抛光

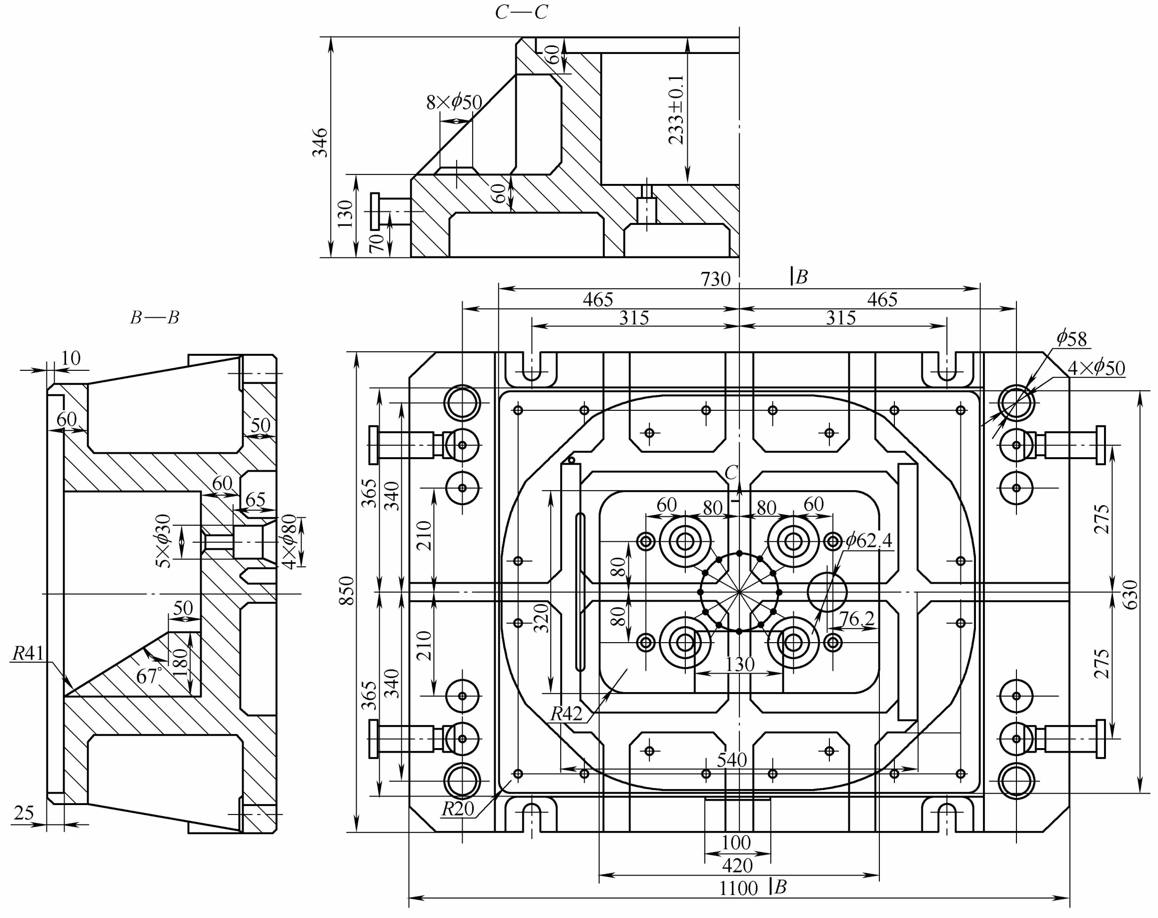


图 2-32　下模座

表 2-5　凹模镶块的加工

序号	工 序 内 容
1	铣六面，留磨，留数控量
2	倒角 C118×138
3	上下面见光，磨结合面、靠背面，配入窝座
4	找正基准面，铣键槽到精度
5	钻孔，组装到模座，钻 M12 起吊孔，做标志
6	找正基准孔，铣轮廓、型面到精度
7	热处理 58～60HRC
8	底面见光
9	研合结合面、靠背面，精修型面、轮廓并抛光

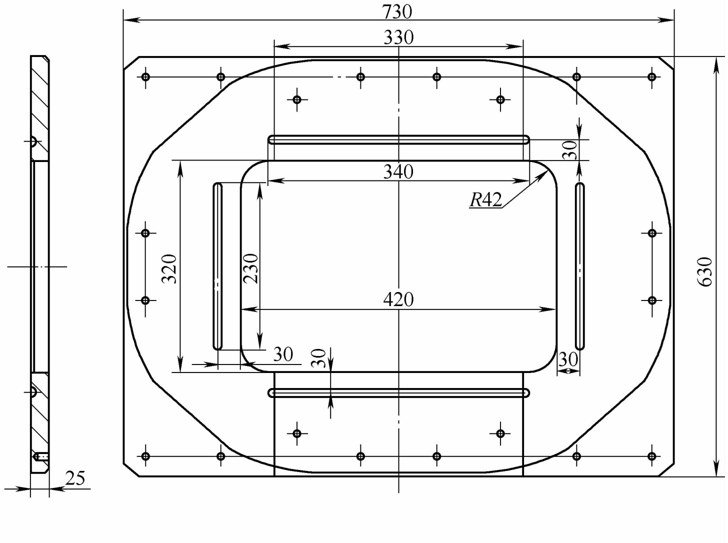


图 2-33 凹模镶块

2.5.2 中小型冲压件模具发展趋势

随着国民经济的高速发展，市场对模具的需求量不断增长。人们已经越来越认识到产品质量、成本和新产品的开发能力的重要性，而模具制造是整个链条中最基础的要素之一，模具制造技术现已成为衡量一个国家制造业水平高低的重要标志，并在很大程度上决定企业的生存空间。

1. 减少农机模具开发成本

（1）冲压件设计应符合冲压工艺标准 减少工序不仅可以节省模具，同时还降低设备台时占用和人员工时消耗，因此工序的数量在冲压件产品成本中占有一定比例。在冲压工艺设计中，应在保证质量的前提下，尽量减少工序数，这就要求工艺设计人员既要熟练掌握冲压工艺理论知识，又要具有丰富的实践经验。在具体工作中，如果通过理论计算或类比借鉴得出工序处于临界状态，即可加可不加时，就可以让该道工序模具采用废旧底板低质材料简易制造，供生产调试或初期小批量生产用；若调试证明该工序无必要，即可取消。

（2）冲压件设计标准化，模具设计通用化 同类产品同功能冲压件应进行标准化设计，如拖拉机发动机的油箱、油底壳、机罩、带轮罩和挡泥板，农用车的驾驶室、货箱、挡风板、板簧座、板簧吊耳以及各种行走机构的钢圈、辐板等。通过套用标准化的冲压件并加以巧妙组合，既能生产出各具特色的产品，又能大幅度地减少模具数量，也就降低了成本。例如，在拖拉机冲压产品生产中，由于拖拉机品种的多样性以及拖拉机本身结构的对称性，诸如车架、横梁、吊耳、加强角板、支架等类型的冲压件在形状上很有可能是相同或相近的，这就为模具的借用与通用提供了条件。模具借用与通用不仅可以减少模具数量，还可节省装模、卸模的辅助生产工时。

在冲压件结构要素标准化的基础上开发多用、通用、组合模具，如采集冲孔、冲缺、剪角、剪圆头的尺寸和弯曲半径、角度、耳挡大小不同的成组数据，通过企业建立自己的标

准，设计部门按企业标准设计冲压件结构，工艺部门审查把关，并在此基础上利用成组技术开发多用、通用、组合模具，可大量简化工序，轻而易举地利用现有模具生产，从而减少专用模具数量。

（3）充分利用设备能力　设计冲压模具时，应使冲压设备的吨位、台面都得到充分的利用，为避免出现“大马拉小车”现象，可采用双槽模具和双模联合安装，这样可使生产效率大大提高，同时也相当于减少了工序数量。此外，半槽形、半盒形零件，两件或左右件连体冲压最后剖切，可在充分利用设备能力的同时，简化了工艺，减少了工序。

2. 冲压模具制造技术的发展趋势

（1）全面推广 CAD/CAM/CAE 技术　CAD/CAM/CAE 技术的应用是模具制造技术发展的动力。随着电脑软件的开发和应用，普及 CAD/CAM/CAE 技术的条件已基本成熟，各企业将加大 CAD/CAM 技术培训和技术服务的力度；进一步扩大 CAE 技术的应用范围。模具从设计到加工完全依赖高科技，将实体设计加上数控编程，取代了人工实型制作和机床操作；精细模具设计和精细数控编程大大减少了钳修；高精度加工取消了模具的研合、修配。

（2）模具高速扫描及数字化系统将在逆向 CAD 工程中应用更广　高速扫描机和模具扫描系统，已在我国 200 多家模具厂得到应用，并取得良好效果。该系统提供了从模型或实物扫描到加工出期望的模型所需的诸多功能，大大缩短了模具的研制周期。有些快速扫描系统，可快速安装在已有的数控机床及加工中心上，用雷尼绍的 SPZ-1 扫描测头实现快速数据采集，采集的数据通过 CAD 软件可自动生成各种不同数控系统的加工程序及不同格式的 CAD 数据，用于模具制造业的“逆向工程”，从而实现了从测量实物—建立数学模型—输出工程图样—模具制造全过程。高速扫描机的扫描速度最高可达 3m/min，大大缩短了模具制造周期。

（3）模具加工设备向高速、一体化方向　发展高速铣削加工，主轴转速可达 40000～100000r/min，快速进给速度可达到 30～40r/min，这样就大幅度提高了加工效率。另外，还可加工硬度达 60HRC 的模块，形成了对电火花成形加工的挑战。高速切削加工与传统切削加工相比还具有温升低（加工工件只升高 3℃）、热变形小等优点。高速铣削加工技术的发展，促进了模具加工技术的发展，特别是对汽车、家电行业中大型型腔模具的制造注入了新的活力。

电火花铣削加工技术是一种替代传统的用成形电极加工型腔的新技术，它是有高速旋转的、简单的管状电极作三维或二维轮廓加工（与数控铣一样），因此不再需要制造复杂的成形电极，这显然是电火花成形加工领域的重大发展。国外已把使用这种技术的机床用于模具加工，今后这一技术将得到迅速发展。

3. 模具材料及表面处理技术发展迅速

模具工业要上台阶，材料应用是关键。若选材和用材不当，将使模具过早失效，因此选用优质钢材和应用相应的表面处理技术来提高模具的寿命就显得十分必要。对于模具钢来说，要采用电渣重熔工艺，努力提高钢的纯净度、等向性、致密度和均匀性及研制更高性能或具特殊性能的模具钢。如采用粉末冶金工艺制作的粉末高速钢，其碳化物微细，组织均匀，没有材料方向性，因此它具有韧性高、磨削工艺性好、耐磨性高、长年使用尺寸稳定等特点，是一种很有发展的钢材，特别对形状复杂的冲件及高速冲压的模具，其优越性更加突出。模具热处理和表面处理是充分发挥模具钢材料性能的关键环节，它的方向是采用真空热

处理。模具表面处理除完善普及常用的处理方法，即扩渗，如渗碳、渗氮、渗硼、渗铬、渗钒等外，还应发展工艺先进的气相沉积（TiN、TiC 等）、等离子喷涂等技术。

4. 模具工业新工艺、新理念和新模式逐步得到认同

在成形工艺方面，主要有冲压模具功能复合化，模具加工系统自动化等。另一方面，随着先进制造技术的不断发展和整体制造水平的提高，在模具行业出现了一些新的设计、生产、管理理念与模式。主要有：适应模具单件生产特点的柔性制造技术；创造最佳管理和效益的团队精神；提高快速应变能力的并行工程、虚拟制造及全球敏捷制造、网络制造等新的生产哲理；广泛采用标准件通用件的分工协作生产模式；适应可持续发展和环保要求的绿色设计与制造等。

2.6 农业机械和工程机械中小型件冲压设备

压力机的种类繁多，按照不同的观点可以把压力机分成不同的类别。如按驱动滑块力的种类分机械的、液压的、气动的压力机等；按滑块个数可分为单动、双动、三动压力机等；按驱动滑块机构的种类又可分为曲柄式、肘杆式、摩擦式压力机；按机身结构形式可分为开式的、闭式压力机等。另外还有许多分类方法，一般按驱动滑块力的种类而把压力机分为机械压力机、液压机。

冲压生产中主要应用的是曲柄压力机和液压机，曲柄压力机按其传动系统又可分为单点、双点和四点压力机。开式曲柄压力机的外形和传动关系如图 2-34 所示。电动机 4 通过

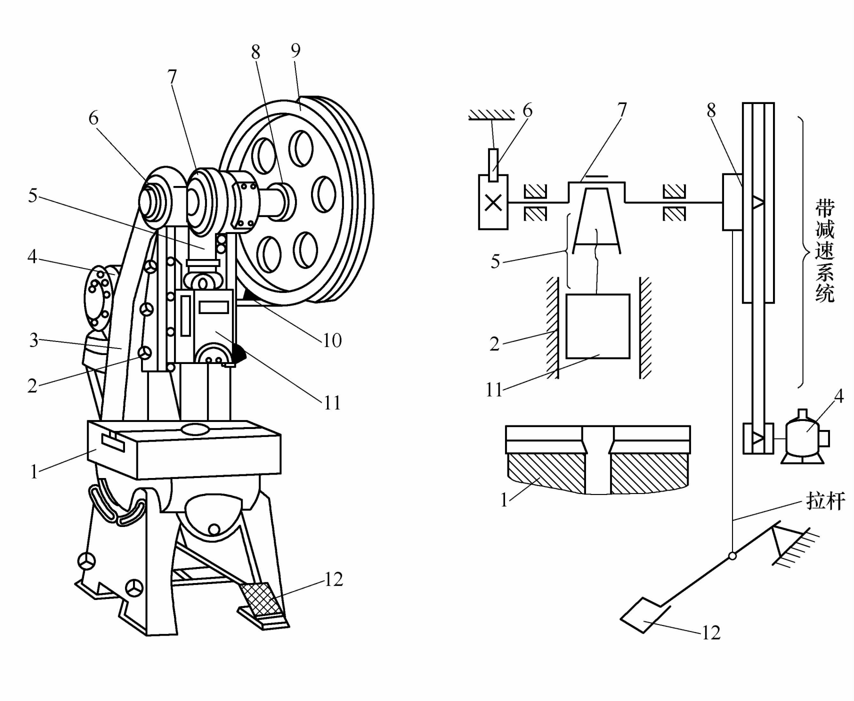


图 2-34 冲床外形和传动图

1—工作台 2—导轨 3—床身 4—电动机 5—连杆 6—制动器 7—曲轴 8—离合器 9—大带轮 10—传动带 11—滑块 12—踏板

带减速系统带动空套在轴上的大带轮 9 旋转，踩下踏板 12 使离合器 8 闭合，通过曲轴 7 和连杆 5 使原处于最高极限位置的滑块 11 沿导轨 2 向下运动，进行冲压。冲压操作时，如踩下踏板后迅速松开，则离合器脱开，在制动器 6 的作用下，使滑块停止在最高位置上，完成一个单次冲压；如果不松开踏板，则可进行连续冲压。模具分为凸模（又称冲头）和凹模，分别装在滑块的下端和工作台 1 上。

国内某大型农业机械企业部分中小型件冲压设备和布局如图 2-35 所示。

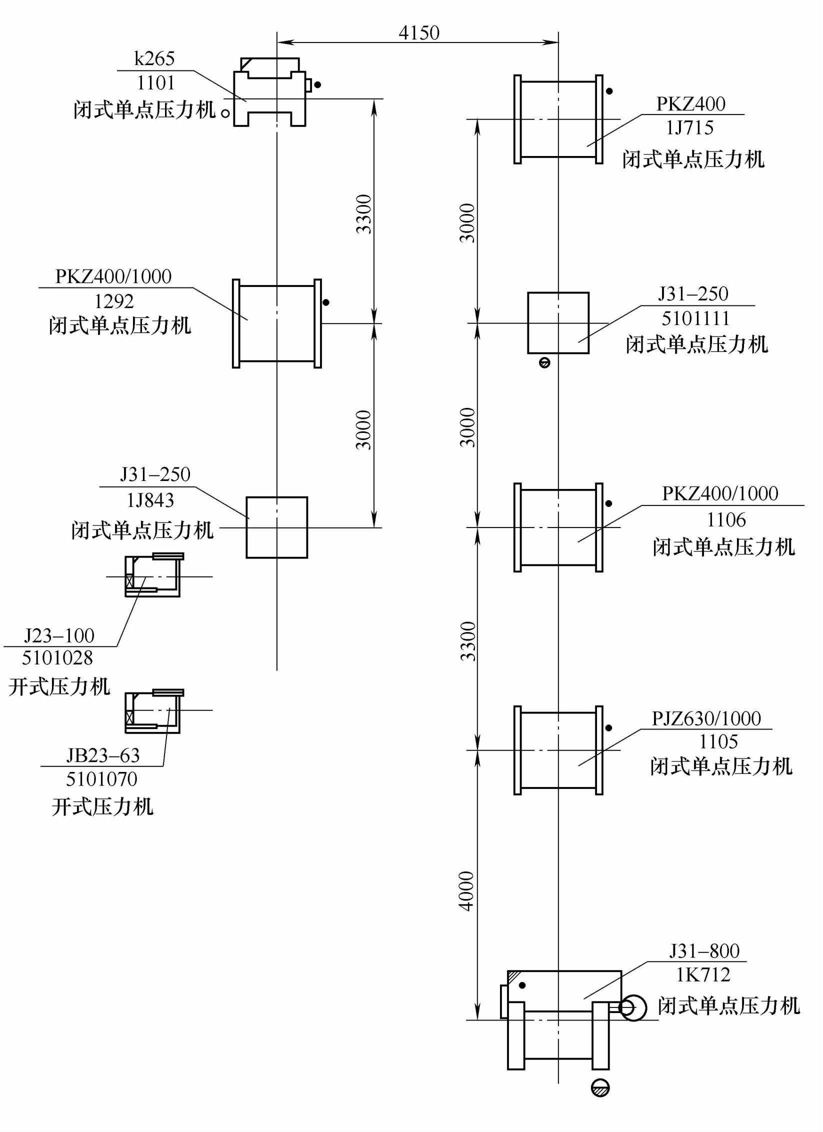
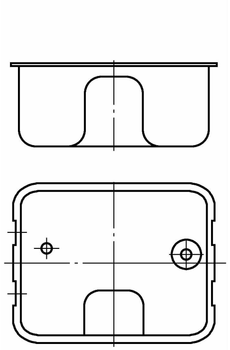


图 2-35　中小型件冲压设备和布局

2.7　农业机械中小型件冲压生产线案例分析

2.7.1　柴油箱下壳生产案例（见图 2-36 ~ 图 2-43）

零件草图	排样图	产生废料规格



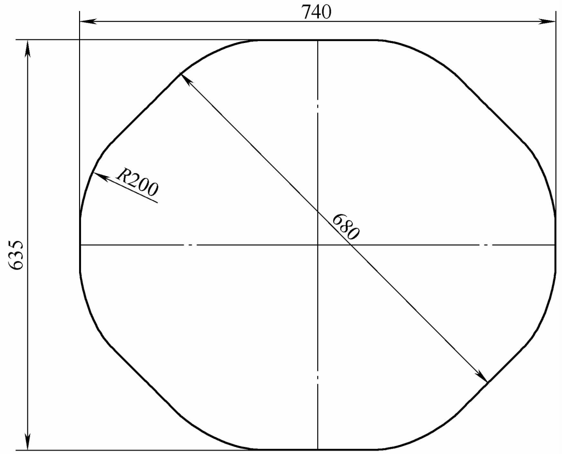
450×350×182

材料	名称	冷优薄板	材料技术要求	BQB403	材料厚度	1.2±0.1	单件净重/kg	3.35	路线	备、冲2跨、(焊—3跨)
	牌号	ST14	剪后毛坯尺寸	740±1×635±1	出制件数量	1	剪后毛坯净重/kg	4.43		

工序号	工序名称	工装号	设备		同时加工件数	测量装置		工位器具		辅助材料/g			定员	单件工时/min	准结工时/min	安全工具
			型号	平面号		名称	规格	编号	容量	名称	规格	数量				
10	修边	400—300078	JB23—63	5101066	1			通用框 B	400	机油	32#	0.4	1	0.6	74	手不进入模区
20	拉深	431—300011	YH28—400/630I	1L063	1			通用框 B	100	拉深油	1号	8	2	0.41	264	双手按钮
30	修边冲孔	405—300171	DF400/2800	1109	1			通用框 B	100	机油	32#	0.4	2	0.32	144	双手按钮
40	冲孔	404—M0107	J36—250	1Q107	1			通用框 B	100	机油	32#	0.4	2	0.32	114	双手按钮
J	检验															

图 2-36　柴油箱下壳加工工艺过程卡

材料名称	冷优薄板	材料厚度	1.2 ±0.1	工序号	10	工装号	400—300078	定员	1
材料牌号	ST14	剪后毛坯尺寸	740 ±1 ×635 ±1	工序名称	修边	设备型号	JB23—63	单件工时	0.6



平面号	5101066			准结工时	74
工位器具	编号:通用框 B	容量:400		同时加工件数	1
模具尺寸	675 ×220 ×245	托杆顶出高度			
模具质量/t		气垫工作行程			
制件定位方式	边定位	托杆尺寸及数量			
制件托起方式		打杆尺寸与数量			
安全因素控制	手不进入模区	垫板编号			

辅助材料		
	名称	机油
	规格	32#
	数量/g	0.4

工步号	工步内容及控制要求
1	对模具的导向机构进行润滑
2	保证毛坯表面清洁无异物
3	准确定位,一次定位冲一个角,旋转零件,4 次行程冲 4 个角。注意定位,区别于 M300.50.104—1.
4	零件摆放整齐,每摞 400 件

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	无明显毛刺	毛刺	30%	目测

测量装置		
	名称	
	规格	

工艺参数	冲载力　243kN	气垫压力

备注:每 60 天检修一次模具

图 2-37　修边

材料名称	冷优薄板	材料厚度	1.2 ±0.1	工序号	20	工装号	431—300011	定员	2
材料牌号	ST14	剪后毛坯尺寸	740 ±1 ×635 ±1	工序名称	拉深	设备型号	YH28—400/630I	单件工时	0.41

（见图 2-39）

平面号	1L063		准结工时	264
工位器具	编号：通用框 B	容量：100	同时加工件数	1
模具尺寸	100 ×750 ×710	托杆顶出高度	280	
模具质量/t		气垫工作行程	350	
制件定位方式	边定位	托杆尺寸及数量	ϕ38 ×670 ×4	
制件托起方式	气垫	打杆尺寸及数量		
安全因素控制	双手按钮	垫板编号	491—0466	1550 ×950 ×200
			491—0021	1350 ×1350 ×150
辅助材料	名称	拉深油		
	规格	1 号		
	数量/g	8		

工步号	工步内容及控制要求
1	对模具的导向机构进行润滑
2	保证毛坯表面清洁无异物
3	刷油部位：压料面上下部位，毛坯上平面对应拉深筋处
4	刷油频次：前 5 件全刷油，其余每 5 件刷 1 次，毛坯每张刷一次
5	零件开口朝下，每摞 15 ~20 件，摆放整齐

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	无破裂	外观	100%	目测

测量装置	名称		
	规格		
工艺参数	冲载力	气垫压力	
备注：每 60 天检修一次模具			

图 2-38　拉深

工序号	20	工序名称	拉深

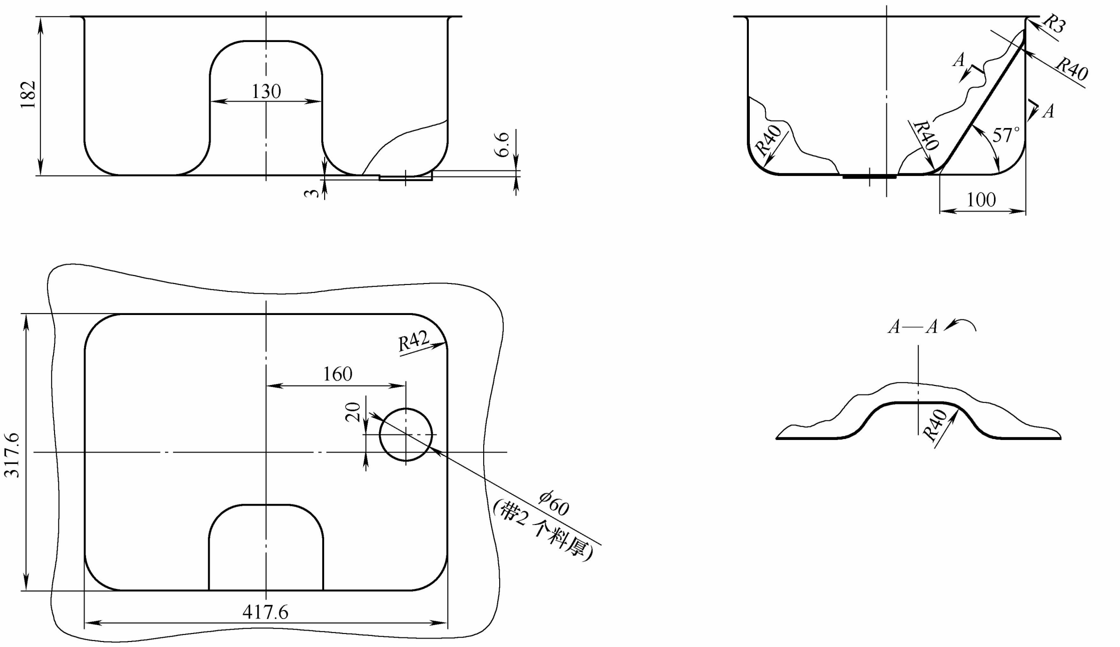


图 2-39　拉深工序零件尺寸

材料名称	冷优薄板	材料厚度	1.2 ±0.1	工序号	30	工装号	405—300171	定员	2
材料牌号	ST14	剪后毛坯尺寸	740 ±1 ×635 ±1	工序名称	修边冲孔	设备型号	DF400/2800	单件工时	0.32

（见图 2-41）

平面号	1109	准结工时	144
工位器具	编号:通用框 B；容量:100	同时加工件数	1
模具尺寸	1000 ×750 ×500	托杆顶出高度	
模具质量/t		气垫工作行程	
制件定位方式	形状定位	托杆尺寸及数量	
制件托起方式		打杆尺寸与数量	
安全因素控制	双手按钮	垫板编号	
辅助材料 名称	机油		
辅助材料 规格	32#		
辅助材料 数量/g	0.4		

工步号	工步内容及控制要求
1	按图示修边并冲 ϕ18mm 的孔。下模拆除其余冲孔凹模。注意冲孔与修边缺口的相对位置
2	对模具的导向机构进行润滑
3	保证零件外观无锈蚀
4	生产完毕,下模具安装凹模及垫板,恢复原状态
5	零件开口朝下,每摞 15 ~20 件,摆放整齐

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	无明显毛刺	毛刺	30%	目测

测量装置	名称		
	规格		
工艺参数	冲载力 816kN	气垫压力	
备注:每 60 天检修一次模具			

图 2-40 修边冲孔

工序号	30	工序名称	修边冲孔

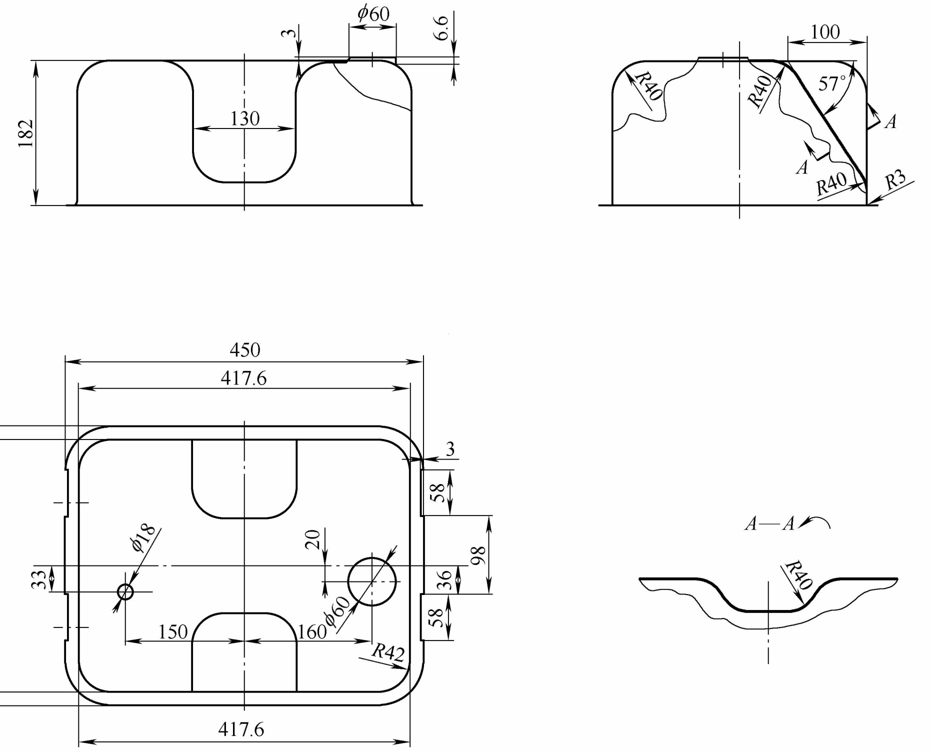


图 2-41　修边冲孔工序零件尺寸

材料名称	冷优薄板	材料厚度	1.2±0.1	工序号	40	工装号	404—M0107	定员	2
材料牌号	ST14	剪后毛坯尺寸	740±1×635±1	工序名称	冲孔	设备型号	J36—250	单件工时	0.32

(见图 2-43)

平面号	IQ107			准结工时	114
工位器具	编号:通用框 B		容量:100	同时加工件数	1
模具尺寸			托杆顶出高度		
模具质量/t			气垫工作行程		
制件定位方式	形状定位		托杆尺寸及数量		
制件托起方式			打杆尺寸及数量		
安全因素控制	双手按钮		垫板编号		
辅助材料	名称	机油			
	规格	32#			
	数量/g	0.4			

工步号	工步内容及控制要求
1	模具下模拆除 ϕ45mm 的孔及 10mm×3mm 长圆孔的凹模及垫板。按图示冲 ϕ18mm 的孔。注意冲孔与修边缺口的相对位置
2	对模具的导向机构进行润滑
3	保证零件外观无锈蚀
4	生产完毕,下模具安装 ϕ45mm 的孔及 10mm×3mm 长圆孔的凹模及垫板,恢复原状态
5	零件开口朝下,每摞 15~20 件,摆放整齐

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	无明显毛刺	毛刺	30%	目测

测量装置	名称	
	规格	
工艺参数	冲载力　32kN	气垫压力
备注:每 60 天检修一次模具		

图 2-42　冲孔

工序号	40	工序名称	冲孔

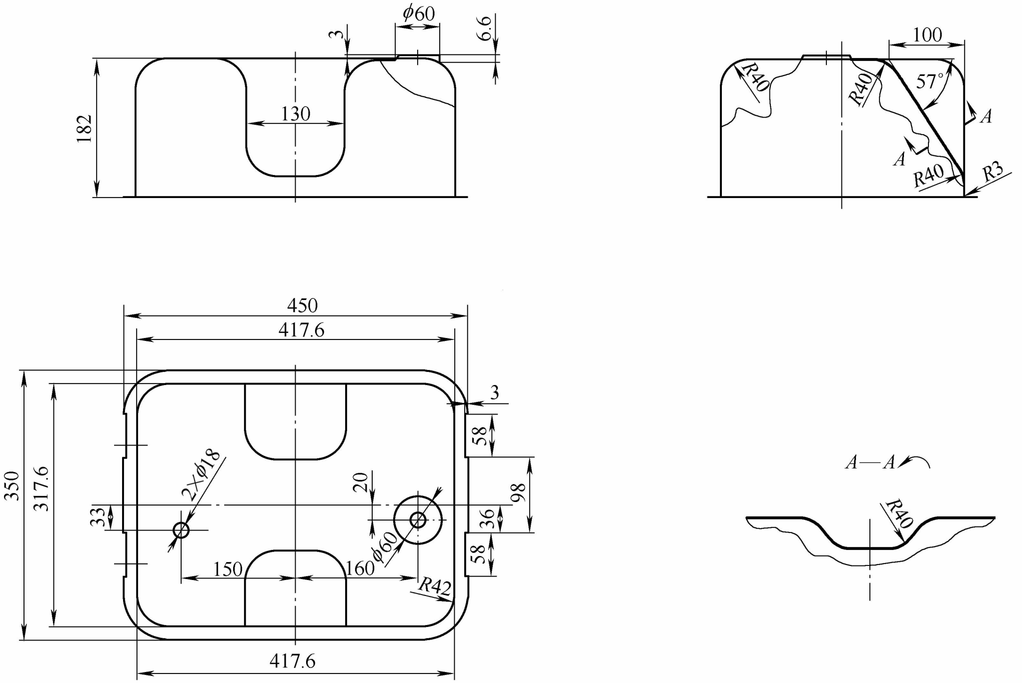


图 2-43　冲孔工序零件尺寸

图 2-44 所示为柴油箱下壳 OP10 修边工序装配图。材料用定位块 5 定位，滑块下行，聚氨酯推料板 8 压住材料，上模 16 继续下行，接触制件，继续下行与下模 18 相切，完成一端修边。滑块上行，聚氨酯退料板回弹，脱离制件，滑块上行，至上死点停稳后，制件掉头，重复上述动作，完成修边工序。

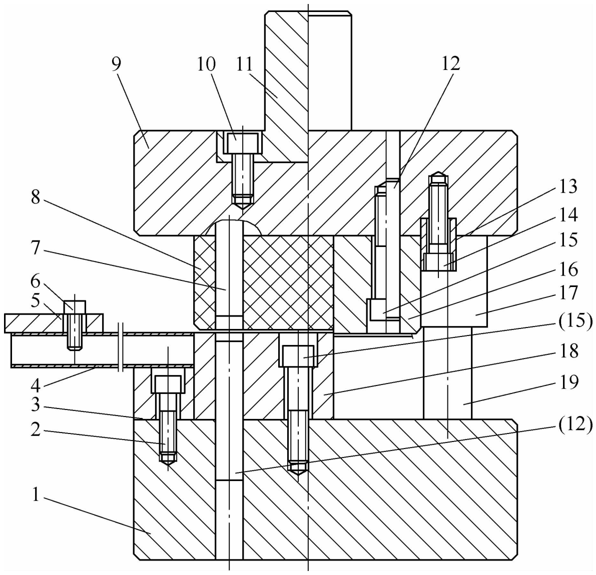


图 2-44　柴油箱下壳 OP10 修边工序装配图

1—下底板　2、10、14、15—螺钉　3—垫块　4—矩形管　5—定位块　6—螺钉　7、12—圆柱销　8—聚氨酯推料板　9—上底板　11—模柄　13—键　16—上模　17—导套　18—下模　19—导柱

图 2-45 所示为柴油箱下壳 OP20 拉深模装配图。将 OP10 工序半成品零件以定位销定位，外滑块下行，带动压料板 4 下行，下行至与凹模 6 相贴压紧制件，内滑块下行，带动凸模固定板 1 及凸模 5 一同下行，接触到顶出器 11 带动小托杆 7 与大托杆 8 下行。下行至顶

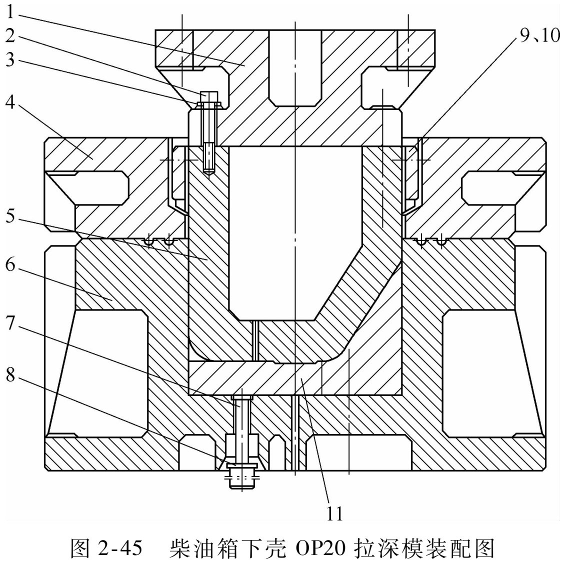


图 2-45　柴油箱下壳 OP20 拉深模装配图

1—凸模固定板　2—螺钉　3—垫片　4—压料板　5—凸模　6—凹模　7—小托杆　8—大托杆　9—导板　10—螺钉　11—顶出器

出器接触底面即完成成形。内滑块上行，带动凸模固定板及凸模一同上行脱离零件。外滑块上行，带动压料板上行脱离零件。气垫顶起大托杆带动顶起小托杆，再带动顶出器顶出零件脱离凹模。滑块行至上死点停稳后，取出零件，完成一次行程。

图 2-46 所示为柴油箱下壳 OP30 修边冲孔装配图。将 OP20 工序半成品零件以型面定位，滑块下行，上模座 3 下行，带动压料板 4 下行压紧零件，滑块继续下行，带动凸模固定板 8 及凸模 7 一同下行，凸模接触到零件并与凹模 16 相切完成冲孔，修边凸模 14 接触到零件并与修边凹模 11 相切完成修边，滑块上行凸模脱离凹模，修边凸模脱离修边凹模，继续上行压料板脱离零件，滑块行至上死点停稳后，取出零件，完成一次行程。

图 2-47 所示为柴油箱下壳 OP40 冲孔装配图。将 OP30 半成品零件以型面定位，滑块下行，上模座 1 下行，带动推料板 2 下行压紧零件，滑块继续下行，带动凸模 3 下行，当凸模接触零件并与凹模 6 相切完成冲孔时，滑块上行，凸模脱离凹模，继续上行，推料板脱离零件，滑块行至上死点停稳后，取出零件，完成一次行程。

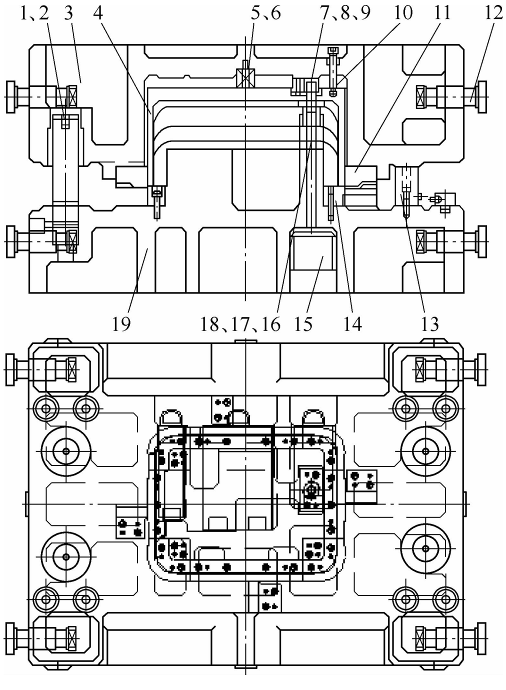


图 2-46　柴油箱下壳 OP30 修边冲孔装配图
1—导柱　2—导套　3—上模座　4—压料板　5—弹簧
6—弹簧限位　7—凸模　8—凸模固定板　9—凸模垫板
10—卸料螺钉　11—修边凹模　12—起吊棒
13—限位器组件　14—修边凸模　15—废料盒
16—凹模　17—凹模固定板　18—凹模垫板　19—下模座

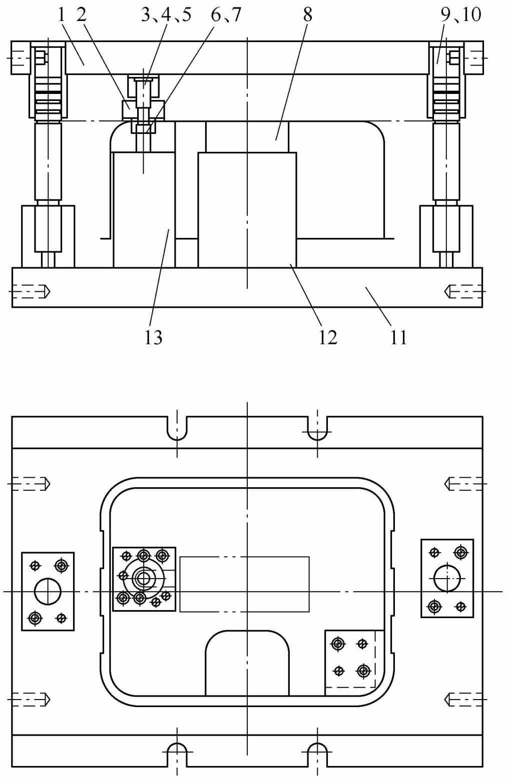
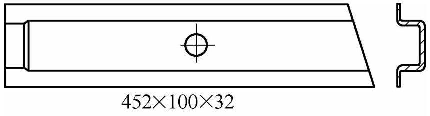


图 2-47　柴油箱下壳 OP40 冲孔装配图
1—上模座　2—推料板　3—凸模　4—凸模固定板
5—凸模垫板　6—凹模　7—凹模垫板　8—垫块　9—导柱
10—导套　11—下模座　12—垫块　13—垫块

2.7.2　加强筋生产案例（见图 2-48 ~ 图 2-53）

零件草图	排样图	产生废料规格

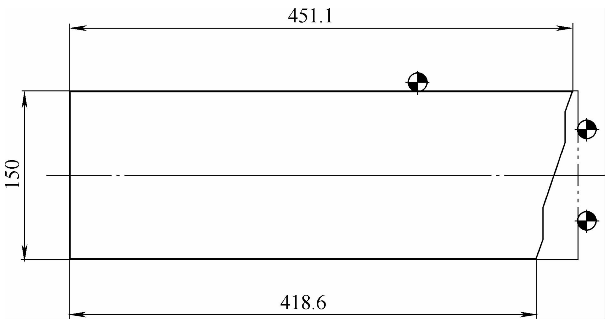


材料	名称	冷普薄板	材料技术要求	GB 11253	材料厚度	2 ±0.13	单件净重/kg	0.72	路线	备、冲 6 跨、(焊一)
	牌号	ST12	剪后毛坯尺寸	455 ±1 ×150 ±1	出制件数量	1	剪后毛坯净重/kg	1.09		

工序号	工序名称	工装号	设备		同时加工件数	测量装置		工位器具		辅助材料/g			定员	单件工时(分)	准结工时(分)	安全工具
			型号	平面号		名称	规格	编号	容量	名称	规格	数量				
10	切端头	400—F70181	J23—63	5101070	1			通用筐 B	700	机油	32#	0.1	1	0.2	74	
		(与 NX700.47.211—1														
		R 共用)														
20	压弯成形冲孔	432—FN0169	J31—250	1J843	1			通用筐 B	700	机油	32#	0.3	1	0.42	94	双手按钮
		(与 NX700.47.211—1														
		R 共用)														
J	检验															

图 2-48　带加强筋零件草图

材料名称	冷普薄板	材料厚度	2 ±0. 13	工序号	10	工装号	400—F70181(与 NX700. 47. 211—1R 共用)	定员	1
材料牌号	ST12	剪后毛坯尺寸	455 ±1 ×150 ±1	工序名称	切端头	设备型号	J23—63	单件工时	0. 2



平面号	5101070	准结工时	74
工位器具	编号:通用框 B	容量:700	同时加工件数 1
模具尺寸	420 ×400 ×250	托杆顶出高度	30
模具质量/t	0. 11	气垫工作行程	150
制件定位方式	边定位	托杆尺寸及数量	4—ϕ44—172
制件托起方式	托杆	打杆尺寸及数量	
安全因素控制	手不要进入模具工作区	垫板编号	

辅助材料	
名称	机油
规格	32#
数量/g	0. 1

工步号	工步内容及控制要求
1	检验来料平整无锈蚀
2	刷油—边定位—切端头—出件—自检
3	自检合格后交检查员进行检查,检验员判定合格后才能生产
4	每次生产自检合格后整齐摆放在工位器具内

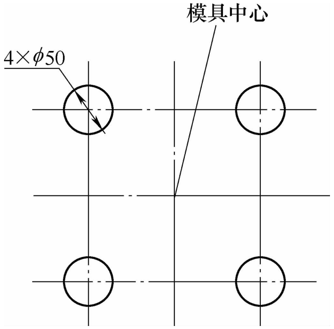
检验项目			
检验内容	质量特性	自检率	检验方式
无明显毛刺		30%	目测

测量装置	
名称	
规格	

工艺参数	冲载力	气垫压力
备注:模具每 60 天检修一次		

图 2-49　切端头工艺卡

材料名称	冷普薄板	材料厚度	2 ±0.13	工序号	20	工装号	432—FN0169(与 NX700.47.211—1R 共用)	定员	1
材料牌号	ST12	剪后毛坯尺寸	455 ±1 ×150 ±1	工序名称	压弯成形冲孔	设备型号	J31—250	单件工时	0.42



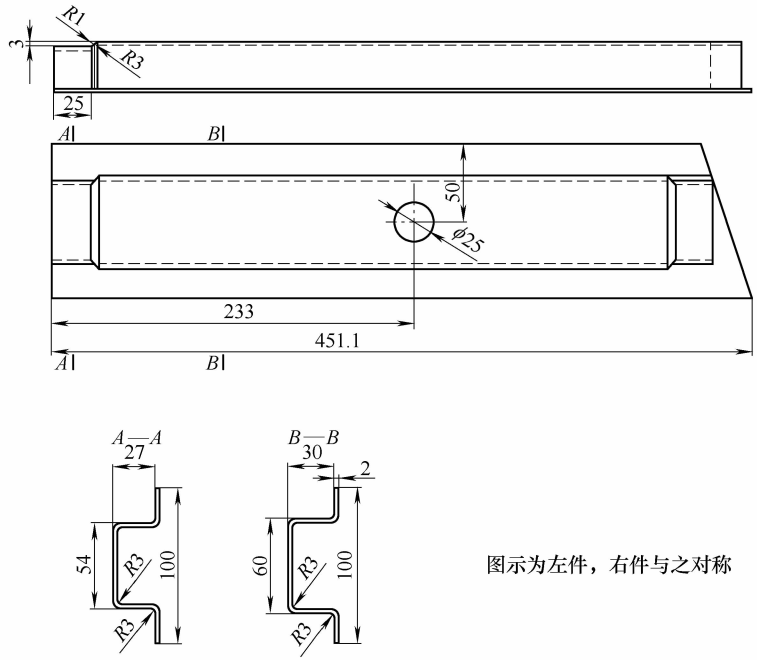
平面号	1J843		准结工时	94
工位器具	编号:通用框 B	容量:700	同时加工件数	1
模具尺寸	800 ×400 ×322	托杆顶出高度	30	
模具质量/t		气垫工作行程	150	
制件定位方式	边定位	托杆尺寸及数量	4—φ44—172	
制件托起方式	托杆	打杆尺寸及数量		
安全因素控制	双手按钮	垫板编号		
辅助材料	名称	机油		
	规格	32#		
	数量/g	0.3		

工步号	工步内容及控制要求
1	检验来料平整无锈蚀
2	刷油—定位销定位—成形冲孔(φ25mm)—出件—自检
3	自检合格后交检查员进行检查,合格后才能生产
4	每次生产自检合格后整齐摆放在工位器具内

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	无明显毛刺,翻边均匀,平直		30%	目测
	孔数:1 个		30%	目测
	底部平整		30%	目测
测量装置	名称			
	规格			
工艺参数	冲载力	气垫压力		
备注:模具每 60 天检修一次				

图 2-50 压弯成形冲孔

工序号	20	工序名称	压弯成形冲孔



图示为左件，右件与之对称

图 2-51　压弯成形冲孔零件图

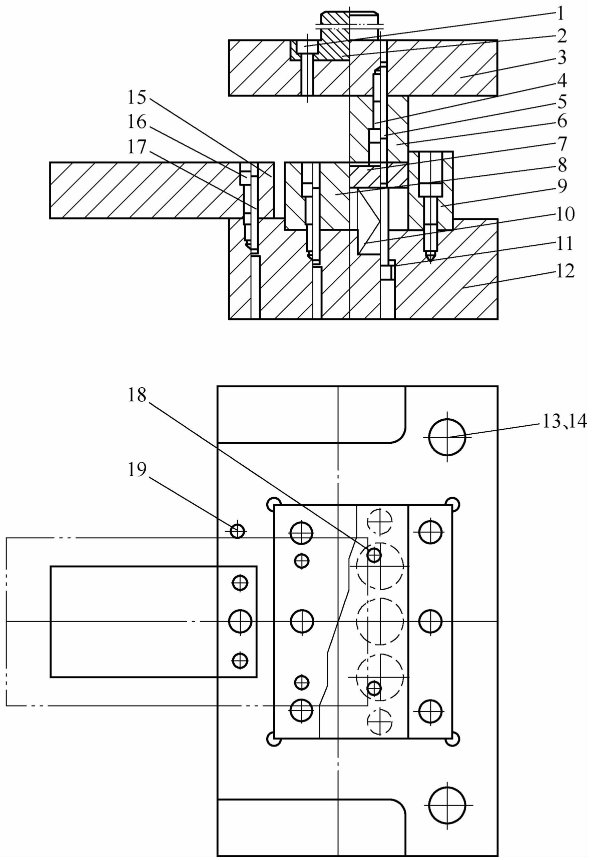


图 2-52　左、右下加强筋 OP10 修边工序装配图

1、4、16—螺钉　2—模柄　3—上底板　5、17—圆柱销　6—凸模　7—推料板　8—凹模　9—侧压板　10—弹簧　11—特种螺钉　12—下底板　13—导柱　14—导套　15—支板　18、19—定位销

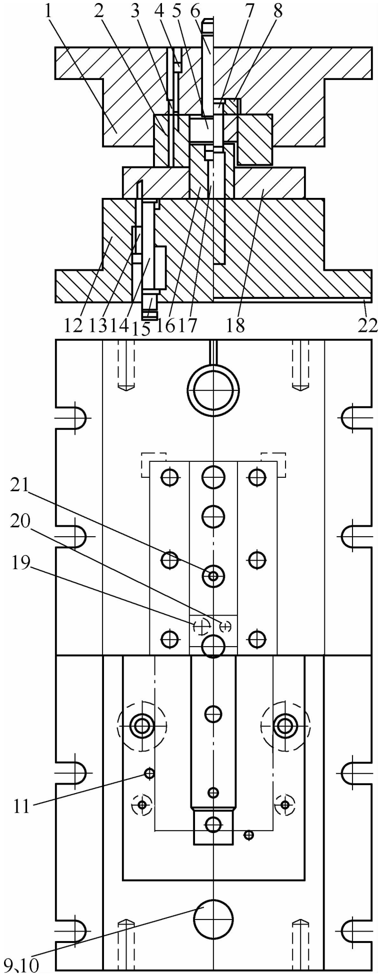
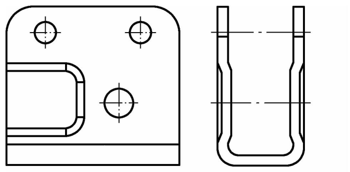
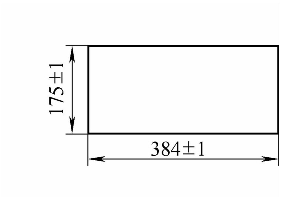


图 2-53　左、右下加强筋 OP20 压弯成形冲孔装配图

1—上底板　2—凹模　3、20—圆柱销　4、17、19—螺钉　5—顶出器　6—打杆　7—凸模　8—固定板　9—导柱　10—导套　11—定位销　12—下底板　13、21—特种螺钉　14—小托杆　15—大托杆　16—凸凹模　18—压料板　22—盖板

2.7.3 连接架生产案例（见图 2-54 ~ 图 2-64）

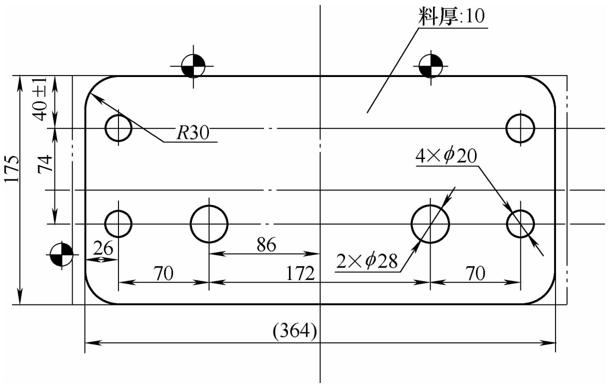
零件草图	排样图	产生废料规格
 175×158×86		

材料	名称	热板	材料技术要求	GB/T 3274—2007	材料厚度	10 ±0.29	单件净重/kg	4.99	路线	备、酸、冲 6 跨、(焊一)
	牌号	Q235A	剪后毛坯尺寸	175 ±1 ×384 ±1	出制件数量	1	剪后毛坯净重/kg	5.28		

工序号	工序名称	工装号	设备		同时加工件数	测量装置		工位器具		辅助材料/g			定员	单件工时/min	准结工时/min	安全工具
			型号	平面号		名称	规格	编号	容量	名称	规格	数量				
10	修边切角冲孔	405—F70531	RKZ630/100	1105	1			通用框 A	200	机油	32#	0.4	2	0.3	144	双手按钮
			0													撬拨片
																477—505
20	成形	432—F70197	RKZ400/100	1106	2			通用框 A	200	机油	32#	0.4	2	0.3	114	双手按钮
			0													
30	压弯	430—F70550	PKZ400/100	1292	1			通用框 A	200	机油	32#	0.4	2	0.3	114	双手按钮
			0													木榔头
40	校正	432—F70203J	JB23—63	5101070	1			通用框 A	200	机油	32#	0.2	2	0.2	74	
J	检验															

图 2-54　连接架加工工艺过程卡

材料名称	热板	材料厚度	10 ±0. 29	工序号	10	工装号	405—F70531	定员	2
材料牌号	Q235A	剪后毛坯尺寸	175 ±1 ×384 ±1	工序名称	修边切角冲孔	设备型号	PKZ630/1000	单件工时	0. 3
						平面号	1105	准结工时	144



工位器具	编号:通用框 A	容量:200	同时加工件数	1	
模具尺寸	770 ×590 ×430	托杆顶出高度			
模具质量/t		气垫工作行程			
制件定位方式	边定位	托杆尺寸及数量			
制件托起方式		打杆尺寸及数量			
安全因素控制	双手按钮	垫板编号			
	撬拨片 477—505				
辅助材料	名称	机油			
	规格	32#			
	数量/g	0. 4			

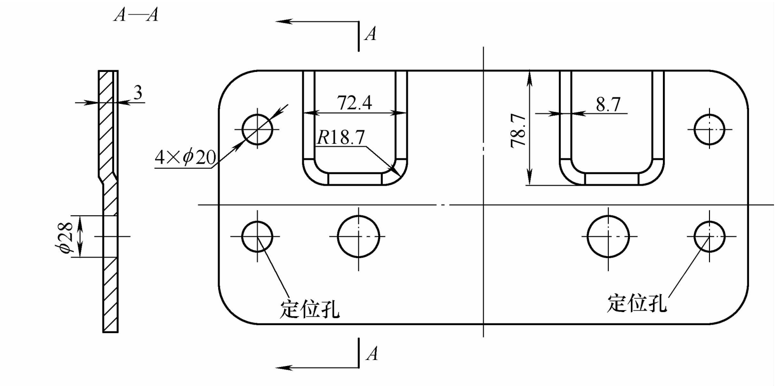
工步号	工步内容及控制要求
1	生产前检查来料平整无锈蚀
2	对模具刃口、导向润滑后再生产
3	贴近定位,防止缺边
4	修边切角冲孔:刷油—冲裁进料—边定位—修边切角冲孔(4 ×φ20、2 ×φ28)—出件—自检
5	首件送检,检验员判定合格后方可生产

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	无明显毛刺		30%	目测
	孔数:6 个		100%	目测
	无划伤、磕碰伤		30%	目测

测量装置	名称		
	规格		
工艺参数	冲载力	气垫压力	
备注:模具每 60 天检修一次			

图 2-55　修边切角冲孔

材料名称	热板	材料厚度	10 ±0.29	工序号	20	工装号	432—F70197	定员	2
材料牌号	Q235A	剪后毛坯尺寸	175 ±1 ×384 ±1	工序名称	成形	设备型号	PKZ400/1000	单件工时	0.3



平面号	1106	准时工时	114
工位器具	编号:通用框 A	容量:200	同时加工件数 2
模具尺寸	770 ×610 ×410	托杆顶出高度	
模具质量/t		气垫工作行程	
制件定位方式	孔定位	托杆尺寸及数量	
制件托起方式		打杆尺寸及数量	
安全因素控制	双手按钮	垫板编号	

辅助材料	
名称	机油
规格	32#
数量/g	0.4

工步号	工步内容及控制要求
1	摘掉模具限位块,对模具导向机构润滑后再生产
2	成形:刷油—进料—孔定位—定形—出件—自检
3	首件送检,检验员判定合格后方可生产

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	成形棱线清晰		30%	目测

测量装置	
名称	
规格	

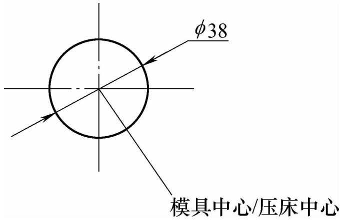
工艺参数	冲载力	气垫压力

备注:模具每 90 天检修一次

图 2-56　成形

材料名称	热板	材料厚度	10 ± 0.29	工序号	30	工装号	430—F70550	定员	2
材料牌号	Q235A	剪后毛坯尺寸	175 ± 1 × 384 ± 1	工序名称	压弯	设备型号	PKZ400/1000	单件工时	0.3

托杆分布图



平面号	1292		准结工时	114
工位器具	编号:通用框 A	容量:200	同时加工件数	1
模具尺寸	680 × 480 × 420	托杆顶出高度	90	
模具质量/t		气垫工作行程	200	
制件定位方式	孔定位	托杆尺寸及数量	1 - ϕ38—265	
制件托起方式	托杆	打杆尺寸及数量		
安全因素控制	双手按钮	垫板编号		
	木榔头			

辅助材料	
名称	机油
规格	32#
数量/g	0.4

工步号	工步内容及控制要求
1	摘掉模具限位块,对模具导向机构润滑后再生产
2	将定位困难的零件敲入定位孔中,保证零件水平放置在模具上
3	压弯:刷油—进料—孔定位—压弯—出件—自检
4	首件送检,检验员判定合格后方可生产
5	检查员 100% 检查零件尺寸(62 ± 1)mm

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	压弯高度一致		30%	目测
	压弯棱线清晰		30%	目测

测量装置	
名称	
规格	

工艺参数	冲载力	气垫压力

备注:模具每 90 天检修一次

图 2-57 压弯工序托杆分布图

工序号	30	工序名称	压弯

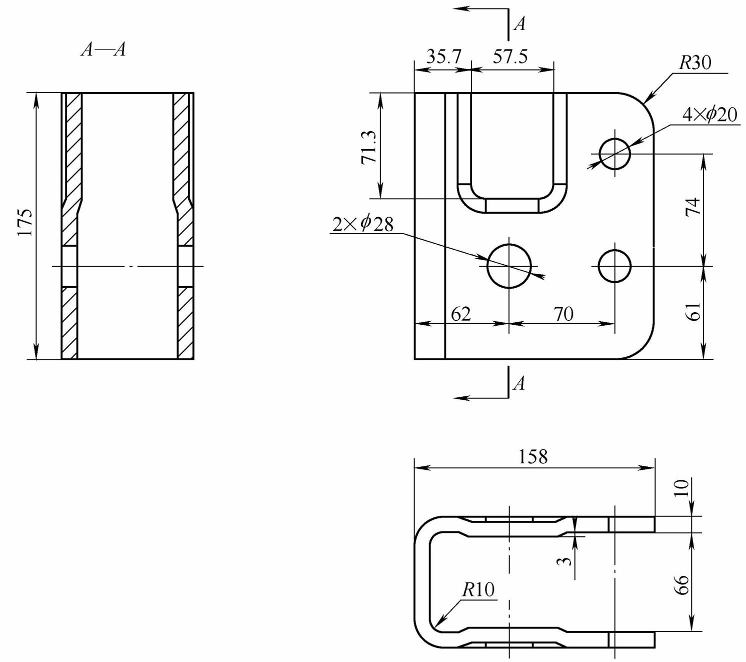
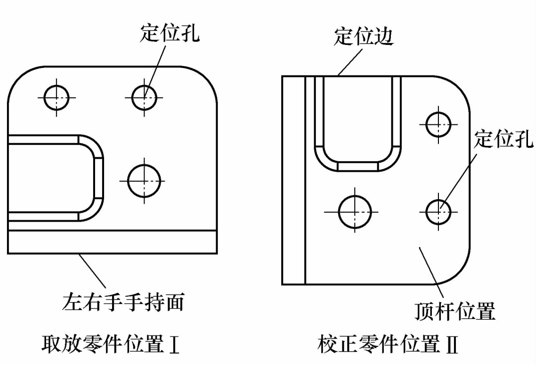


图 2-58　压弯零件图

材料名称	热板	材料厚度	10±0.29	工序号	40	工装号	432—F70203J	定员	2
材料牌号	Q235A	剪后毛坯尺寸	175±1×384±1	工序名称	校正	设备型号	JB23—63	单件工时	0.2



平面号	5101070	准结工时	74
工位器具	编号:通用框 A　容量:200	同时加工件数	1
模具尺寸		托杆顶出高度	
模具质量/t		气垫工作行程	
制件定位方式	孔、边定位	托杆尺寸及数量	
制件托起方式		打杆尺寸及数量	
安全因素控制	工作时手不要进入模具工作区	垫板编号	
	模具专用顶杆		

辅助材料		
	名称	机油
	规格	32#
	数量/g	0.2

工步号	工步内容及控制要求
1	润滑导向装置
2	校平:刷油—进料—孔及边定位—校平—出件—自检
3	左右手拿零件侧面,水平将零件放到定位销中(位置Ⅰ),注意:手指不能进入模具工作区
4	右手用顶杆将零件顺时针旋转至另一个定位销处(位置Ⅱ)
5	将顶杆放入零件,靠近定位孔处校平(位置Ⅱ)
6	用顶杆顶住零件侧面,逆时针将零件旋转至模具外端(位置Ⅰ)
7	左右手拿住零件侧面,向上抬起零件出定位销,水平向外取出零件(位置Ⅰ)

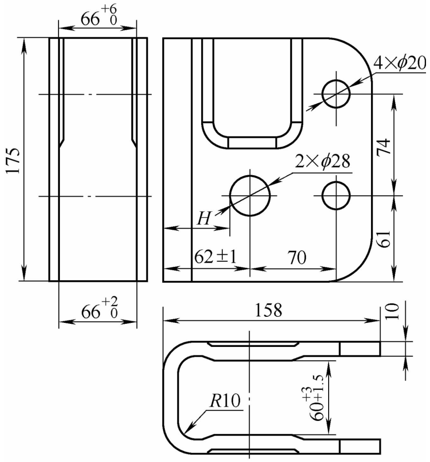
检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	开口尺寸均匀		100%	目测
	60		30%	卡板

测量装置		
	名称	
	规格	

工艺参数	冲载力	气垫压力
备注		

图 2-59　校正

材料名称	热板	材料厚度	10±0.29	工序号	40	工装号	432—F70203J	定员	2
材料牌号	Q235A	剪后毛坯尺寸	175±1×384±1	工序名称	校正	设备型号	JB23—63	单件工时	0.2



平面号	5101070		准结工时	74
工位器具	编号:通用框 A	容量:200	同时加工件数	1
模具尺寸		托杆顶出高度		
模具质量/t		气垫工作行程		
制件定位方式	孔、边定位	托杆尺寸及数量		
制件托起方式		打杆尺寸及数量		
安全因素控制	工作时手不要进入模具工作区	垫板编号		
	模具专用顶杆			
辅助材料	名称	机油		
	规格	32#		
	数量/g	0.2		

工步号	工步内容及控制要求
8	首件送检,检验员判定合格后方可生产

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式

测量装置	
名称	
规格	

工艺参数	冲载力	气垫压力
备注		

图 2-60　校正后零件图

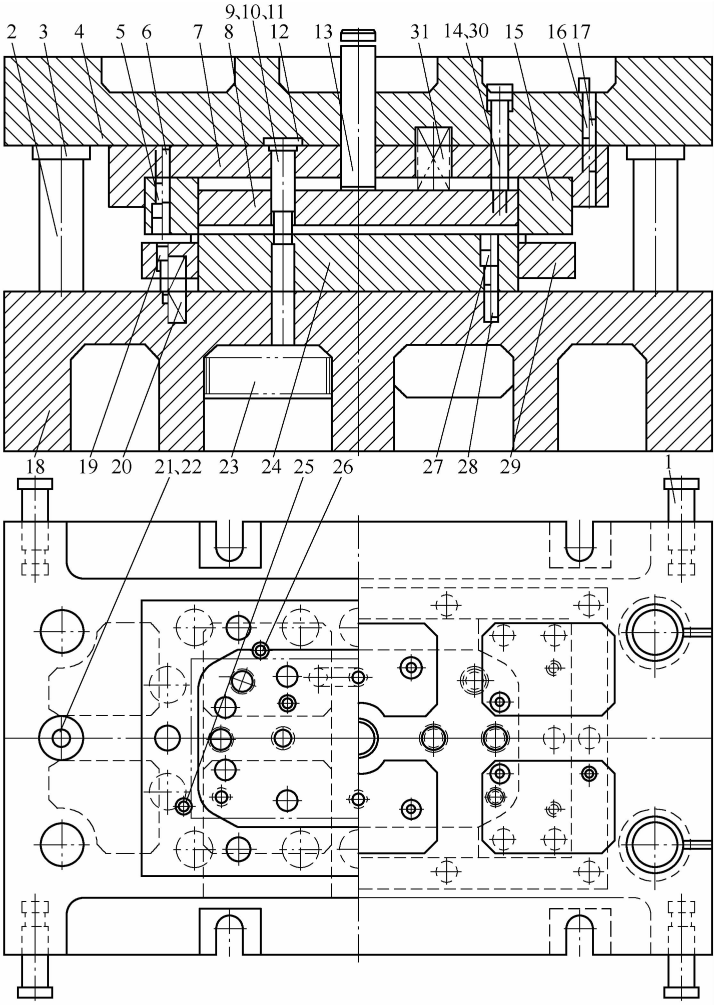


图 2-61　连接架 OP10 修边冲孔工序件装配图

1—起重棒　2—导套　3—导柱　4—上底板　5、16、27—螺钉
6、17、28—圆柱销　7—固定板　8—顶出器　9、10、11—凸模　12—垫板
13—打杆　14—工作特种螺钉　15—凹模　18—下底板　19—特种螺钉
20、31—弹簧　21—工作限位器　22—停放限位器　23—废料盒
24—凸凹模　25—挡料　26—挡料销　29—推料板　30—安全特种螺钉

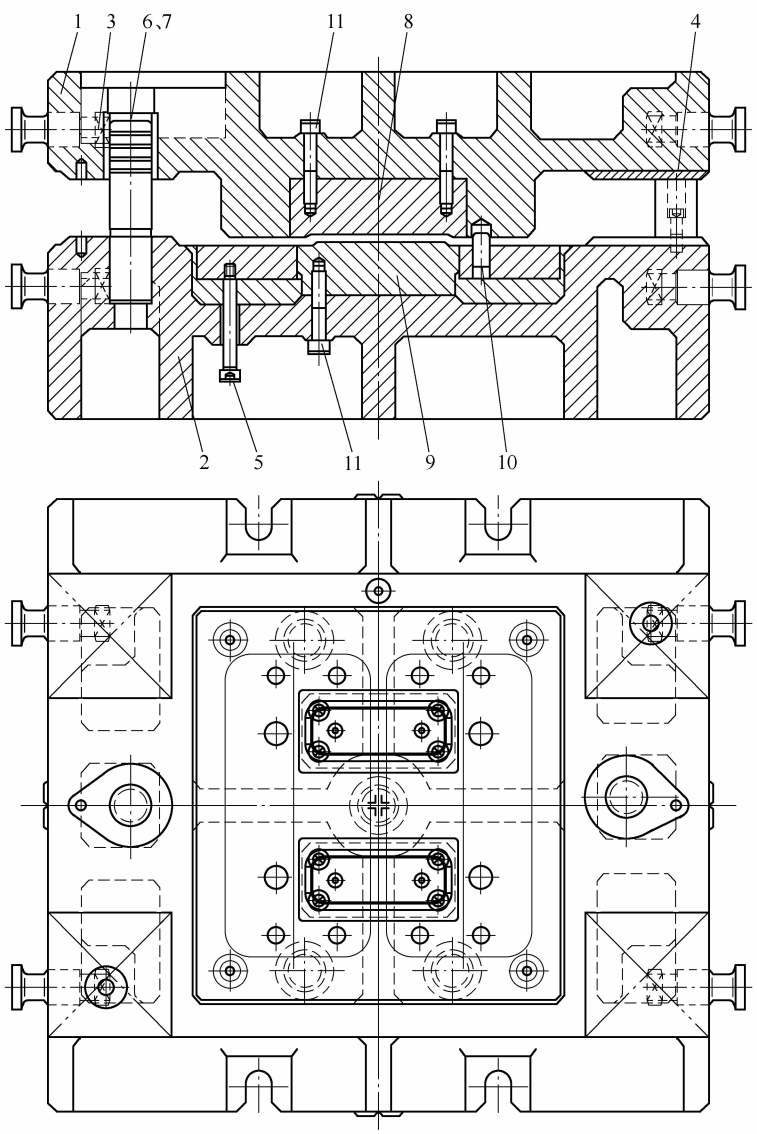


图 2-62　连接架 OP20 成形工序件装配图

1—上模　2—下模　3—起吊棒　4—行程限位器

5—卸料螺钉　6—导套　7—导柱　8—凹模　9—凸模

10—定位销　11—螺钉

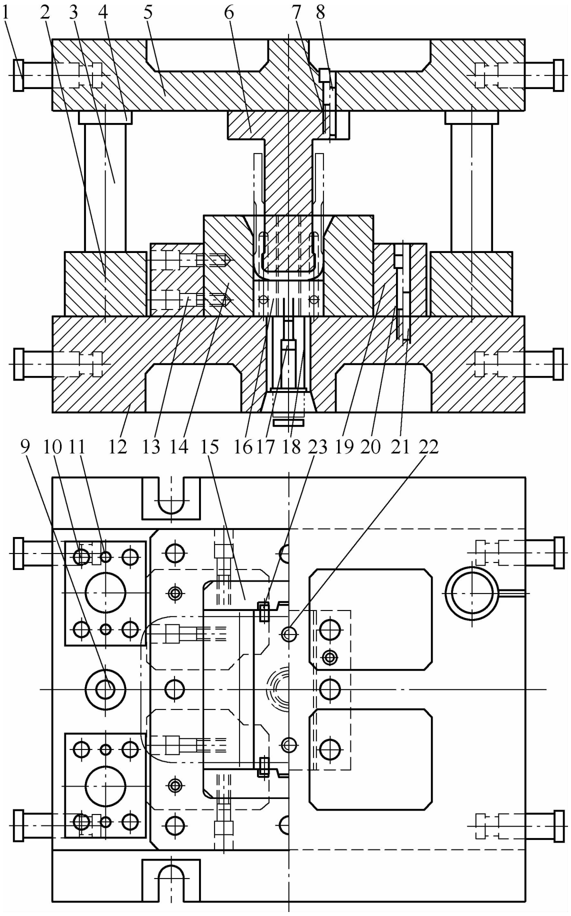


图 2-63　连接架 OP30 压弯模装配图

1—起重棒　2—导柱固定座　3—导柱　4—导套　5—上底板　6—凸模
7、10、13、17、20—螺钉　8、11、21、23—圆柱销　9—工作限位器　12—下底板
14—凹模　15—导向板　16—压料板　18—加长杆　19—固定板　22—定料销

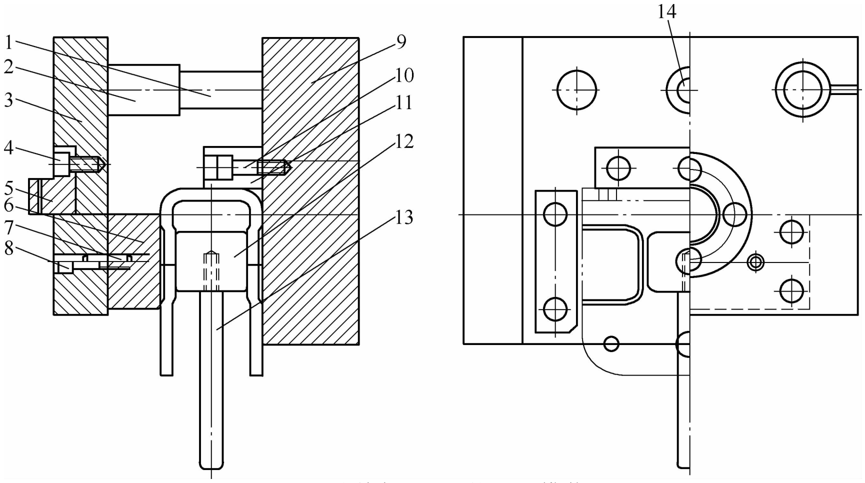


图 2-64　连接架 OP40 校开口模装配图

1—导柱　2—导套　3—上底板　4、7、10—螺钉　5—模柄　6—凸模　8—圆柱销
9—下底板　11—定位板　12—垫块　13—手柄　14—工作限位器

参 考 文 献

[1]　李体彬. 冲压成形工艺 [M]. 北京：化学工业出版社，2008.
[2]　马朝兴，徐立章，沈志刚，等. 冲压模具设计手册 [M]. 北京：化学工业出版社，2009.
[3]　吴诗惇，李淼泉. 冲压工艺及模具设计 [M]. 西安：西北工业大学出版社，2002.
[4]　魏春雷，安家菊，宛强，等. 冲压工艺与模具设计 [M]. 北京：北京理工大学出版社，2007.
[5]　胡兆国. 冷冲压工艺及模具设计 [M]. 北京：北京理工大学出版社，2009.
[6]　肖景容，姜奎华. 冲压工艺学 [M]. 北京：机械工业出版社，1999.
[7]　王孝培. 冲压手册 [M]. 北京：机械工业出版社，1995.
[8]　夏琴香. 冲压成形工艺及模具设计 [M]. 广州：华南理工大学出版社，2004.
[9]　高鸿庭，刘建超，齐卫东，等. 冷冲模设计及制造 [M]. 北京：机械工业出版社，2002.

第 3 章 农业机械覆盖件冲压技术

3.1 概述

3.1.1 农业机械覆盖件的定义

农业机械覆盖件是指构成农业机械的驾驶室、覆盖发动机、车轮、底盘等内部构件的薄金属板料构成的异形外表面零件，如拖拉机的机罩、驾驶室、挡泥板等都由大量覆盖件组成，如图 3-1 所示。

覆盖件组装后构成了拖拉机机罩或驾驶室的外部和内部形状，它既是外观装饰性的零件，又是封闭薄壳状的受力零件。覆盖件的制造是农业机械制造中非常重要的一个环节。

目前农业机械覆盖件通常采用冲压、焊接的方法加工而成。

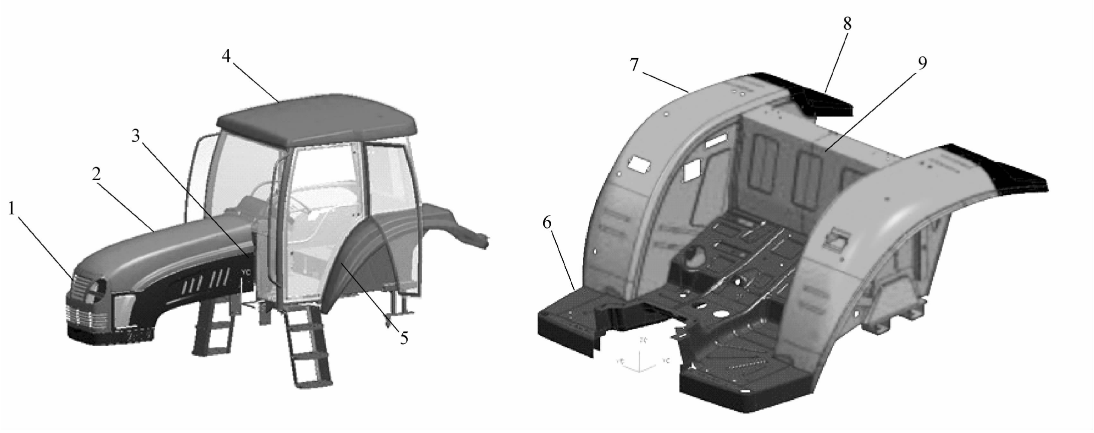


图 3-1 拖拉机驾驶室覆盖件

1—机罩前脸 2—机罩上盖板 3—机罩侧板 4—驾驶室顶棚 5—外挡泥板
6—大地板 7—挡泥板顶板 8—挡泥板防溅板 9—后壁板

3.1.2 覆盖件的特点和要求

同一般冲压件相比，农业机械覆盖件大多是空间曲面结构，具有形状复杂、材料薄、结构尺寸大、有较高的连接要求、表面质量要求高等特点。这就造成了覆盖件在冲压成形时变形复杂，变形规律不易被掌握，出现的质量问题也比较多。因此，覆盖件的工艺设计、冲模结构设计和冲模制造工艺都具有特殊性。在长期实践中通常把覆盖件从一般冲压件中分离出

来，作为一个特殊的类别加以研究和分析。

1. 表面质量

覆盖件表面上任何微小的缺陷都会在涂漆后引起光线的漫反射而损坏外形的美观，因此覆盖件表面不允许有波纹、微折、凹痕、擦伤、边缘拉痕和其他破坏表面美感的缺陷。覆盖件上的装饰棱线和筋条要求清晰、平滑、左右对称和过渡均匀，覆盖件之间的棱线衔接应吻合流畅，不允许参差不齐。总之，覆盖件不仅要满足结构上的功能要求，更要满足表面装饰的美观要求，尤其是外壳覆盖件。但是，农业机械与汽车相比，在外观质量要求上不如汽车高，而更加要求实用性好，价格便宜。

2. 尺寸形状

一般来讲，覆盖件尺寸较大且形状多为空间立体曲面，其形状很难在覆盖件图上完整准确地表达出来，因此覆盖件的尺寸形状常借助主模型来描述。主模型是覆盖件的主要制造依据，覆盖件图上标注出来的尺寸形状，其中包括立体曲面形状、各种孔的位置尺寸、形状过渡尺寸等，都应和主模型一致，图面上无法标注的尺寸要依赖主模型量取，从这个意义上看，主模型是覆盖件图的必要补充。

3. 刚性

覆盖件拉深成形时，由于其弹性变形的不均匀性，往往会使某些部位刚性较差。刚性差的覆盖件受到振动后会产生空洞声，用这样零件装车，车辆在路况较差的路面上行驶时会发生振动，造成覆盖件早期破坏。对农业机械来讲，其作业条件通常比较恶劣，覆盖件的破坏多是在交变应力作用下的疲劳破坏，因此，农机覆盖件的刚性要求不可忽视。检查覆盖件刚性的方法：①敲打零件以分辨其不同部位声音的异同；②用手按看其是否发生松弛和鼓动现象。

4. 工艺性

覆盖件的结构形状和尺寸决定着零件的工艺性。实践证明，覆盖件工艺性的关键是拉深工艺性。覆盖件一般都采用一次成形法，为了创造一个良好的拉深条件，通常将翻边展开，窗口补满，再添加上工艺补充部分，构成一个拉深件。

工艺补充是拉深件不可缺少的组成部分，它既是实现拉深的条件，又是增加变形程度获得刚性零件的必要补充。工艺补充的多少取决于覆盖件的形状和尺寸，也和材料的性能有关，形状复杂的深拉深件，要使用深拉深用钢板，如 08ZF 钢板。工艺补充的多余料需要在后续工序中去除。

拉深工序以后的工艺性，仅仅是确定工序次数和安排工序顺序的问题。工艺性好可以减少工序次数，进行必要的工序合并。审查后续工序的工艺性要注意定位基准的一致性或定位基准的转换，前道工序为后续工序创造必要的条件，后道工序要注意和前道工序的衔接性。

3.1.3　覆盖件的成形性质及变形特点

1. 农业机械覆盖件的成形性质

农业机械覆盖件的冲压成形与简单形状零件相比有许多不同的特点，其变形极为复杂。较好地把握其成形性质的特点，对其变形规律进行尽量细致的、定性的分析，可以为进行覆盖件的冲压件设计、冲压工艺设计和模具设计奠定良好的基础。同时，随着计算机模拟复杂零件成形过程研究的不断深入，将能定量地给出变形规律以及各种冲压成形参数。农业机械

覆盖件的冲压成形性质如下。

（1）一次拉深成形　对于轴对称零件或盒形零件，若拉深系数小于一次拉深的极限拉深系数时，则不能一次拉深成形，需要采用多次拉深成形方法，而且可以计算出每次拉深的拉深系数等工艺参数及中间毛坯尺寸等。但对于农业机械覆盖件来说，由于其结构、变形复杂，其规律难以定量把握，以目前的技术水平还不能进行多次拉深工艺参数的确定。而且多次拉深易形成冲击线、弯曲痕迹线，也会影响涂装后的表面质量，这对覆盖件是不允许的。因此，农业机械覆盖件的成形都是采用一次拉深成形的方法。

（2）拉胀复合成形　农业机械覆盖件在成形过程中的毛坯变形不是简单的拉深变形，而是拉深和胀形变形同时存在的复合成形。一般来说，除内凹形轮廓（如 L 形轮廓）对应的压料面外，压料面上的毛坯变形为拉深变形（径向为拉应力，切向为压应力），而轮廓内部（特别是中心区域）的毛坯变形为胀形成形（径向和切向均为拉应力），如图 3-2 所示。

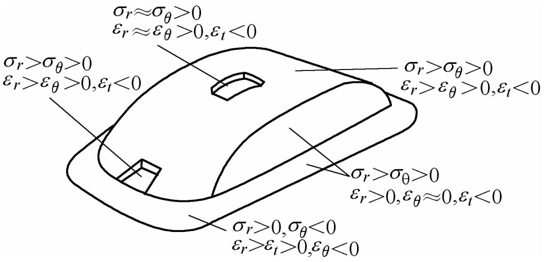


图 3-2　覆盖件不同部位的变形性质

（3）局部成形　轮廓内部有局部形状的零件冲压成形时，压料面上的毛坯受到压边圈的压力，随着凸模下行而首先产生变形并向凹模内流动，当凸模下行到一定深度时，局部形状开始成形，并在成形过程的最终时刻全部贴模。所以，局部形状外部的毛坯难以向该部位流动，成形主要靠该部位毛坯在双向拉应力下的材料变薄来实现面积的增大，即这种内部局部成形为胀形成形。

2. 覆盖件冲压成形过程中的变形特点

农业机械覆盖件冲压成形时，内部毛坯不是同时贴模，而是随着冲压过程的进行而逐步贴模。这种逐步贴模过程，使毛坯保持塑性变形所需的成形力不断变化，毛坯各部位板平面内的主应力方向与大小、板平面内两主应力之比（σ_1/σ_2）等受力情况不断变化，毛坯（特别是内部毛坯）产生变形的主应变方向与大小、板平面内两主应变之比（$\varepsilon_1/\varepsilon_2$）等变形情况也随之不断地变化，即毛坯在整个冲压过程中的变形路径（$\varepsilon_1/\varepsilon_2$）不是一成不变的，而是变路径的。

农业机械覆盖件冲压成形中，决定毛坯变形性质及冲压成形难度大小的最主要因素是其结构特点。只有根据农业机械覆盖件的结构特点，分析清楚冲压成形中毛坯的主要变形特点及可能出现的问题，才能在拉深件设计、工艺设计和模具设计中采取相应的措施。

农业机械覆盖件的各结构特征的变形特点如下。

（1）法兰形状

1）平面法兰（见图 3-3a）。在冲压成形中，法兰上毛坯的流动速度、变形量、变形分布等随着内轮廓的变化而变化，外凸轮廓部分法兰毛坯的变形特点以拉深变形为主（即压缩类变形）；内凹轮廓部分法兰毛坯的变形特点以胀形变形为主（即伸长类变形）。

2）上凸形法兰（见图 3-3b）。有上凸部分法兰的零件在冲压成形时，冲模上的相应部位压料面也呈上凸形状，因而有可能导致某断面上压料面的线长大于冲压件相应断面的线长。这种情况下，冲压过程中该断面就会产生多余材料，在冲压件上形成折皱。同时，压料

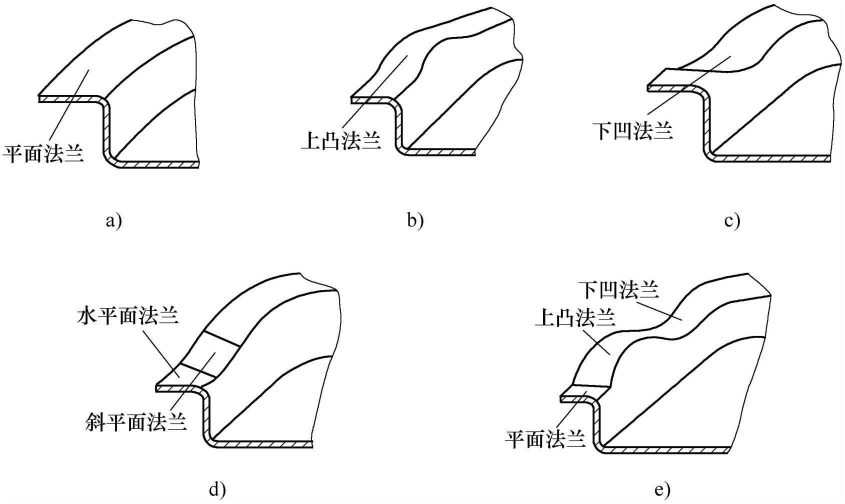


图 3-3　法兰形状分类

a）平面法兰　b）上凸形法兰　c）下凹形法兰　d）多平面法兰　e）综合性法兰

面上的材料在向凹模内流动时，流动速度不均匀，且流动方向不垂直于凹模口。该部分材料内会产生一定程度的切向拉应力。

3）下凹形法兰（见图 3-3c）。与上凸形法兰零件相比，冲压成形时压料面形状对凹模内部毛坯变形产生的效果在总体上是基本相同的，但在法兰上、下凹部分材料内会产生切向压应力。

4）多平面法兰（见图 3-3d）。若冲压件的法兰是由几个平面组成的，斜平面法兰部分的毛坯比水平面法兰部分的毛坯受到模具压料面的阻力要小，材料容易流入凹模，但不易产生塑性变形，对高平面法兰部分的材料有带动流动作用。材料内产生切应力和切应变。在两平面相交呈下凹形状的交界处，毛坯在变形过程中就会产生材料多余甚至堆积；而在两平面相交呈上凸形状的交界处，毛坯在变形过程中就会产生材料变薄。

5）综合性法兰（见图 3-3e）。由多个平面、曲面组合而成。这种法兰上毛坯的流动与变形特点可参考以上几种类型进行分析。

（2）轮廓形状

1）圆形轮廓（见图 3-4a）。若法兰和底部均为平面形状，且侧壁为轴对称，那么在同一圆周上，变形是均匀分布的，法兰上毛坯产生拉深变形；若法兰形状为非平面，则变形随着法兰的变化而变化。

2）椭圆形轮廓（见图 3-4b）。法兰上毛坯的变形为拉深变形，但变形量和变形比沿轮廓形状相应变化。曲率越大毛坯的塑性变形量越大；反之，曲率越小毛坯的塑性变形量越小。

3）长圆形轮廓（见图 3-4c）。其圆形部分以拉深变形为主，直边部分以弯曲变形为主，两部分交界区有剪切变形。

4）矩形轮廓（见图 3-4d）。冲压件在成形时，直边部分法兰上毛坯以弯曲变形为主，转角部分法兰上毛坯以拉深变形为主。直边部分与转角部分之间的流动速度有差别，故在两部分相交区域会产生剪切变形。

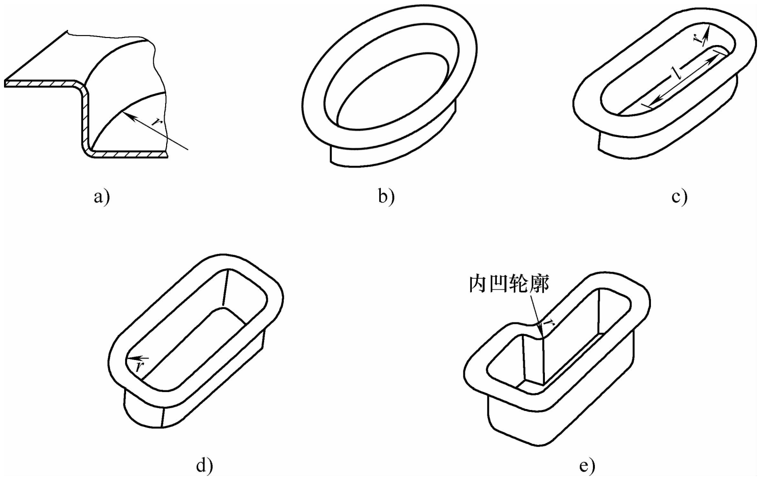


图 3-4　轮廓形状

a）圆形轮廓　b）椭圆形轮廓　c）长圆形轮廓　d）矩形轮廓　e）局部内凹轮廓

5）局部内凹轮廓（见图 3-4e）。成形过程中，局部内凹轮廓（如 T 形轮廓、L 形轮廓等）部分法兰上的变形为两向伸长变形，而法兰其他部位为拉深变形。

（3）侧壁形状

1）直壁（见图 3-5a）。毛坯上的材料进入凹模后成为冲压件的侧壁，其主要作用是向变形区传递变形力，一般不产生塑性变形。

2）斜面侧壁（见图 3-5b）。冲压件的侧壁为斜面时，侧壁在冲压过程中是悬空的，不贴模，直到成形结束时才贴模。这种零件在成形时，侧壁不同部位的变形特点也不完全相同，侧壁部分在径向受拉应力作用，产生伸长变形。靠近中央部位的毛坯切向受拉应力，产生伸长变形，该部位的成形属于胀形成形；而靠近凹模口部分的毛坯切向受压应力，产生压缩变形，该部位的成形属于拉深成形，即这种侧壁的成形属于拉深-胀形复合成形。

3）台阶侧壁（见图 3-5c）。冲压件成形时，侧壁部位先是被径向拉伸形成斜面侧壁，成形的最后阶段才成为冲压件形状。这一部位的变形一般为胀形，有利于提高零件表面质量。

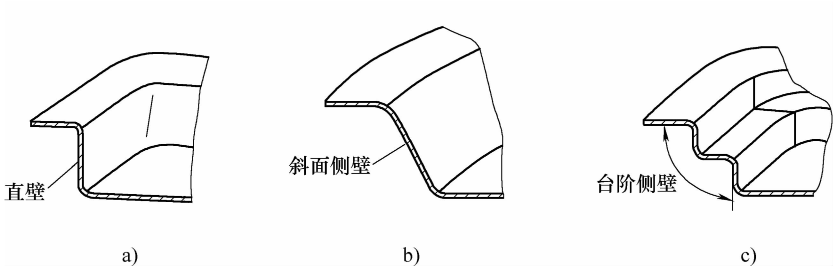


图 3-5　侧壁形状

a）直壁　b）斜面侧壁　c）台阶侧壁

（4） 底部形状

1） 平面底部（见图 3-6a）。拉深成形时该部位一般不产生塑性变形，刚性较差，表面形状精度不易保证。若胀形成形，则产生双向伸长变形。

2） 局部成形底部（见图 3-6b）。该部位一般产生胀形变形。

3） 外凸形曲面底部（见图 3-6c）。一般在成形一开始就产生一定程度的胀形变形。

4） 内凹形曲面底部（见图 3-6d）。一般在成形的最后阶段产生一定程度的胀形变形。

5） 台阶底部（见图 3-6e）。在成形一开始就有极度不均匀的变形分布，在台阶变化部分的侧壁易有诱发切应力存在，产生变形甚至形成皱折或材料堆积。

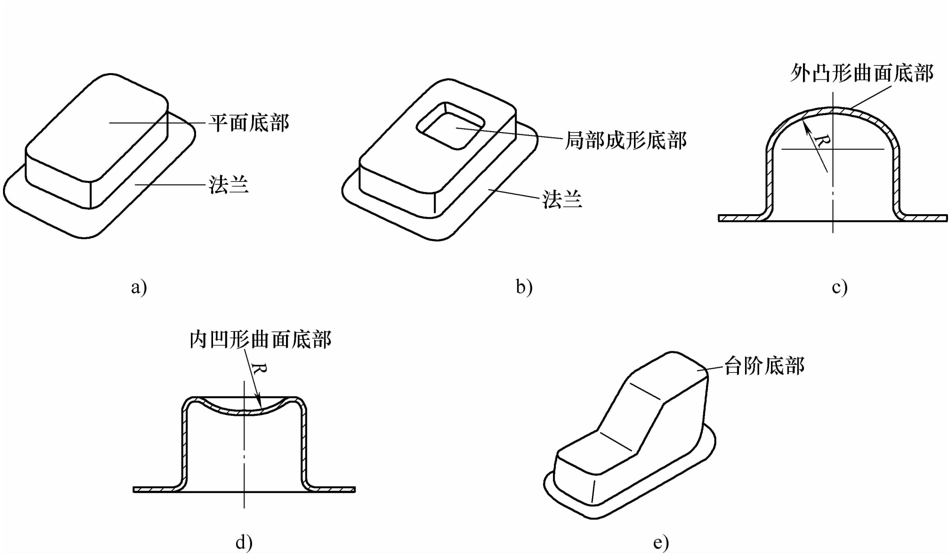


图 3-6　底部形状

a）平面底部　b）局部成形底部　c）外凸形曲面底部　d）内凹形曲面底部　e）台阶底部

3.1.4　覆盖件冲压生产技术所涵盖的内容

农业机械覆盖件的生产过程比较复杂，整个过程涵盖的内容也非常广泛，主要包括冲压工艺设计、模具材料的选用、模具结构的设计与制造以及冲压板材的选用等内容。

1. 冲压工艺设计

冲压工艺设计是模具设计和制造的基础，传统的冲压工艺设计主要包含最佳工艺方案的确定、工序数量、工序组合和每道工序的内容等。冲压工艺的合理与否直接决定着覆盖件的成形成败和产品质量的好坏。随着人们对覆盖件冲压工艺设计重要性认识的加深，覆盖件冲压工艺的设计内容已经不再局限于简单的工艺排序及拉深工艺补充，而是要考虑模具设计、模具制造乃至模具及冲压件检查等各个方面。

2. 模具材料的选用

模具材料不仅决定着模具成本、模具寿命，而且在很大程度上影响着零件的质量，同时也是确保完成冲压工序的关键因素，因此，选择合适的模具材料是覆盖件生产中重要的一个环节。

3. 模具结构的设计与制造

模具的制造精度和模具结构对覆盖件的生产质量和生产成本具有重要影响。模具制造精度过高虽能保证产品质量，但会增加模具成本；模具制造精度过低则不能满足产品质量要求，在模具设计时必须选择合适的模具精度。而模具结构的合理性直接关系着覆盖件的成形过程，下面以拉深模为例说明模具结构对覆盖件质量的影响。

（1）凸、凹模圆角半径的影响　覆盖件拉深时常见的两种主要缺陷是起皱和拉裂。若凸模或凹模圆角半径过小，则材料流入凹模的阻力增大，从而引起总的拉深力增大，容易出现拉裂。若凸模或凹模圆角半径过大，则流入凹模的阻力减小，金属流动性好，但是会减小压边的有效面积，使制件拉深时压边部分的材料过早离开压边圈，从而出现起皱。

（2）模具导向方式的影响　拉深模的导向包括凸模与压边圈、压边圈与凹模两个方向的导向。稳定可靠的导向可以保证模具周围间隙的均匀性及拉深凸、凹模型面的贴合性，从而保证拉深件的质量。普通拉深模大多采用导板或导柱进行导向，而在拉深过程中侧向力较大的覆盖件拉深模（多指结构不对称工件）可采用镶块靠背式导向装置进行导向，如图 3-7 所示。

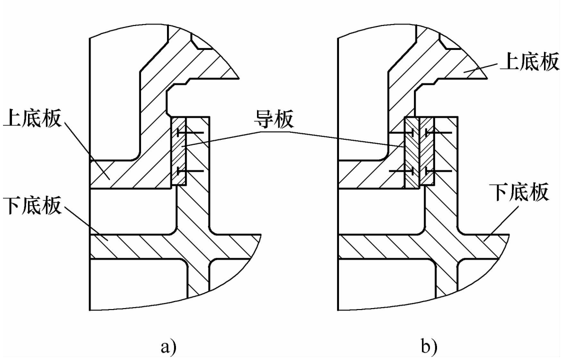


图 3-7　镶块靠背式导板装配图

（3）拉深筋（槽）的影响　设置拉深筋的作用是增加压料面上相应部位的进料阻力，调整毛坯金属的流向和速度。通常拉深筋的数目及位置主要根据覆盖件外形、起伏特点以及拉深深度而定。拉深深度大的零件在直线部分设置 1 ~ 3 根拉深筋，但在圆弧部位不设拉深筋。当同一零件各部位拉深深度相差较大时，在深的部位不设拉深筋，浅的部位须设拉深筋；拉深筋的方向一定要保证与拉深毛坯流动方向垂直。拉深筋是安置在压边圈的压面料上还是安置在凹模的压面料上，主要根据模具在压力机上是否便于调整而定。一般拉深筋安置在上压料面上，拉深筋槽安置在下压料面上，以便于材料定位。为确保可靠，在模具上设计出来的拉深筋往往还需要在模具调试过程中进行验证和调整。

（4）模具通气孔的影响　由于拉深完成之后凸模首先向上运动，但压边圈仍停留在原位置，空气不能及时流入拉深件和凸模之间，拉深件紧贴凸模，随凸模继续向上运动，容易导致拉深件沿其轮廓向上鼓起而将工件破坏；同样，在拉深时由于压边圈将拉深毛坯压紧在凹模压料面上，如果凹模里的空气不被排除，被压缩的空气就会将拉深件顶瘪，因此在凸模和凹模内必须设置通气孔。

4. 冲压板材的选用

不同冲压板材对冲压件的成形难易程度、模具结构形式都会产生很大的影响，因此冲压板材的选用是覆盖件生产中一项重要的内容。

除以上内容外，覆盖件的冲压生产技术还涉及冲压设备的选用、冲压生产线设计以及项目管理等多方面的内容。

在以上各环节中，哪一项内容解决不好，都会影响到覆盖件的生产，因此，覆盖件冲压生产技术是一项包含多项技术内容的复杂技术。

3.2　农业机械覆盖件的分类与演变

3.2.1　农业机械覆盖件的分类

（1）按覆盖件用途分类　拖拉机上的覆盖件有很多，每个覆盖件都有自己的作用，按照零件在拖拉机中的用途可以将覆盖件分为以下几种：

1）机罩覆盖件。通常包括机罩上盖板，机罩前脸，机罩左、右侧板，机罩左、右护板，机罩前、后加强筋等零件。

2）挡泥板覆盖件。通常包括左、右上板，左、右立板，左、右防溅板，左、右加强筋，后壁板等零件。

3）底板覆盖件。通常包括拖拉机大地板等零件。

4）驾驶室覆盖件。通常包括顶棚 、左、右后立柱外板、顶棚后围板等零件。

（2）按覆盖件结构特征分类　按覆盖件的结构特征可以分为外板覆盖件和内板覆盖件。

1）外板覆盖件通常包括机罩上盖板，机罩前脸，机罩左、右侧板，机罩左、右护板，挡泥板左、右上板，挡泥板左、右立板，挡泥板左、右防溅板，后壁板，拖拉机大地板，驾驶室顶棚，驾驶室左、右后立柱外板等零件。

2）内板覆盖件通常包括机罩前、后加强筋，左、右加强筋，顶棚后围板等零件。

3.2.2　农业机械覆盖件的演变

1. 农业机械覆盖件的演变趋势

随着新工艺、新材料、新技术的不断发展，冲压技术和冲压设备的不断进步，拖拉机覆盖件的设计和制作技术也日益完善。20 世纪 50 年代以前的拖拉机覆盖件比较简陋，到了 20 世纪 60 年代初，在迅速发展的汽车车身工业的影响下，拖拉机覆盖件的造型出现了唯美倾向，结构也变得复杂。进入 20 世纪 70 年代之后，覆盖件的结构转而趋向简单，注重耐用，造型亦显得美观大方。目前，有越来越多的设计工作者正致力于提高覆盖件的设计水平。

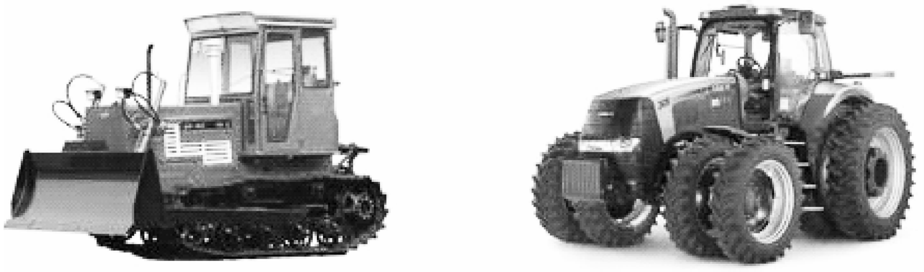
（1）农业机械的造型变化　随着社会的发展，广大农民生活水平的提高，仅仅强化农机产品的功能，而忽视产品外观的设计已不能满足消费者的需要。若要满足市场的需求，必须在增加产品科技含量的同时，在产品外形上做文章，吸引用户。例如，从图 3-8 所示的 1996 年和 2008 年 20 马力两款拖拉机中可以看出，2008 年的 20 马力拖拉机与 1996 年的相比，不仅其造型将以前的直线造型变成了流线造型，而且更简洁、更美观大方。

（2）农业机械的用途变化　随着社会的不断变化，农机的用途也在发生着变化，以拖拉机为例，最初的拖拉机仅作为农耕使用，随着农民的需求变化，拖拉机不仅用于农耕，也用于短途运输，所以，拖拉机也由最初的履带式拖拉机发展到了轮式拖拉机以及多用途拖拉机。例如，图 3-9 所示的大型运输用拖拉机和耕地推土用拖拉机，由于耕地推土用拖拉机多在田间、工地使用，以实用为最大要求，而运输用拖拉机除了实用之外，对外形的要求更高，所以后者上盖板等覆盖件采用流线造型，可更加美观，但其工艺较前者的直线造型更为复杂。

a)　　b)

图 3-8　拖拉机覆盖件造型变化

a）1996 年的 20 马力拖拉机造型　b）2008 年的 20 马力拖拉机造型



a)　　b)

图 3-9　拖拉机用途变化

a）耕地推土用拖拉机　b）大型运输用拖拉机

2. 覆盖件尺寸和形状变化对零件成形工艺及生产效率的影响

（1）对单件成形工艺性的影响　当农业机械覆盖件采用流线造型设计后，拉深时变形程度增大，成形难度增加，回弹控制难度增加，并且冲模的制造和维修更加困难，因此，产品的成形工艺性降低，冲压难度增加。所以，在对车型进行改进设计时应尽可能考虑零件的拉深成形工艺性。

（2）对总成匹配的影响　单件尺寸变大，形状更加复杂，成形难度增加的同时，整车总成匹配的要求更高，所以制件尺寸和形状精度要求提高。

（3）对生产效率的影响　单件尺寸变大，形状复杂，一般来说，生产效率会随之降低。

3.3　农业机械覆盖件材料及其发展

3.3.1　农业机械覆盖件材料的特点

多数农业机械或工程机械在露天、多尘、潮湿和污秽的环境中或水中作业，与土壤、肥料、农药、粪便、腐烂植物和水等接触，受到这些物料和环境的腐蚀作用。在作业中，有的

部件与土壤、作物根茎和牲畜皮毛等物料相摩擦而严重磨损，有的部件则承受较大的动载荷和冲击作用。因此，在农业机械制造中，常使用具有耐蚀、耐磨、减摩、耐冲击和耐疲劳等性能而又成本低、原料立足于该国资源的金属和非金属材料，并采用各种处理工艺来改善和提高这些材料的性能。

农业机械及工程机械覆盖件多是由厚度为 0.6 ~ 1.5mm 的冷轧薄钢板冲压而成的，由于零件变形量比较大，因此这些材料通常需要具有良好的塑性和抗拉强度。

3.3.2　农业机械覆盖件对原材料的要求

大型覆盖件由于形状复杂且不对称，在拉深过程中应力、变形很不均匀，而且多数情况要求工件一次拉深成形，即材料需要承受很大的应力，产生最大限度的塑性变形，因此，它对深拉深钢板的冲压性能提出了很高要求。影响深拉深钢板冲压性能的因素很多，钢板的表面质量、厚度公差、化学成分、力学性能、工艺性能和金相组织都直接或间接地影响其冲压性能。

根据生产经验，覆盖件对原材料提出的要求如下：

1）冲压性能的好坏与钢板含碳量有关。低的含碳量有利于深拉深，所以深拉深钢板碳的质量分数应在 0.06% ~ 0.09% 范围内。凡与铁能形成固溶体的元素，如硅（$w(\mathrm{Si}) \leqslant 0.03\%$）、磷（$w(\mathrm{P}) \leqslant 0.06\%$）均应保持在最低容许含量内，因为它们使铁素体更坚固、变硬、变脆。另外，硫的质量分数亦应力求减少到最小限度（$w(\mathrm{S}) \leqslant 0.05\%$），因为它与铁和锰呈脆性的化合物存在。

2）晶粒大小及其均匀度对材料的塑性和冲压件的质量有很大影响。均匀且细小的晶粒组织有较好的塑性，便于拉深成形，而且冲压件的表面质量亦光滑美观。晶粒粗大虽易于成形，但容易使工件表面产生麻点与橘皮纹。晶粒过细，会因难于变形而使工件产生裂纹，并且弹性亦大，影响工件精度。实践证明，具有良好拉深性能的钢板，其晶粒度级别应为 6 ~ 7 级，并要求晶粒度大小均匀。

铁素体晶粒形状分“等轴晶粒”和“饼形晶粒”两种。对于难冲压的覆盖件（如机罩上盖板等），要求饼形晶粒的钢板，其厚向异性系数 r 大，即厚度方向的晶粒数目较长度方向的晶粒数目多，而晶界具有阻止变形的作用，所以拉深时，板料厚度方向不易变形，长度或宽度方向比较容易变形，从而提高了钢板的拉深性能。

3）钢板中珠光体的形状对冲压性能也有较大的影响。球状比片状珠光体有利于拉深。游离渗碳体硬且脆，若它沿铁素体晶界分布，则拉深时易产生裂纹，深拉深钢组织中游离渗碳体应限制在 1 ~ 2 级内（GB/T 13299—1991）。非金属夹杂物（尤以条状、方块状连续分布时）对拉深十分不利。实践证明，因工艺问题而产生的废品，一般裂口比较整齐；因材料质量差而产生的废品，裂口多半为锯状或不规则形状。

4）力学性能是衡量钢板冲压性能好坏的重要指标。R_{eL} 与 R_{m} 的比值越小，意味着应力不大时，就开始塑性变形，而且变形阶段长，能持久而不破裂。伸长率越大，则塑性越好。用于覆盖件的深拉深钢板，要求 $R_{\mathrm{eL}}/R_{\mathrm{m}} \leqslant 0.65$，$A_{11.5} \geqslant 40\%$。

另外，还要求大的硬化指数 n，n 值大的材料具有扩展变形区、使变形均匀化、减少局部变薄和增大极限变形的作用，成形性能好。

5）深拉深钢板（尤其是沸腾钢）由于时效作用，在材料力学性能试验的应力-应变曲

线图上有屈服平台（图 3-10a），即当拉深变形达到屈服强度后，在相当长的一段变形量内，材料的变形抗力维持不变，甚至略有下降。这在不均匀变形的情况下，就会使首先塑性变形的区域继续局部延伸，当变形越过屈服平台后才能扩展至邻近区域，这种现象使得拉深后的零件表面出现局部凹纹（又称为滑带），它有损工件外观，这对于表面质量要求很高的覆盖件来说是不允许的。为了消除滑带，除了从钢材冶炼中设法解决外，还可在拉深前，将钢板用 0.5% ~3% 的压下量冷轧一下，以消除屈服平台（图 3-10b）。经冷轧后的钢板应随即送去拉深成形，否则搁置时间一长，又会因时效作用重新出现屈服平台。

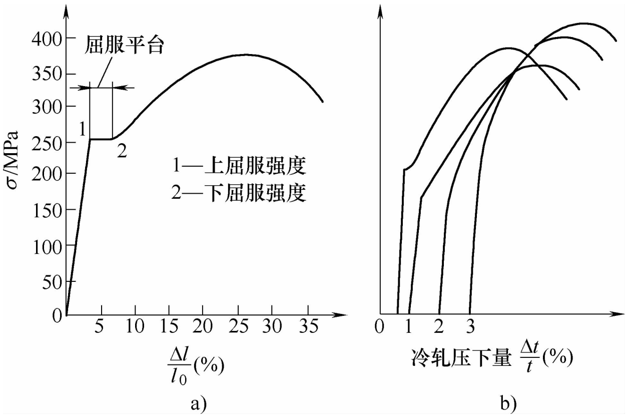


图 3-10　低碳钢假想应力-应变曲线与材料状态的关系

a）退火的　b）冷轧以后的

6）覆盖件对钢板的表面质量和厚度偏差要求很严格。表面质量要求达到特别高级精整平面（Ⅰ组）或高级精整平面（Ⅱ组），厚度偏差要求达到高级精度（A 级）或较高级精度（B 级）。

3.3.3　农业机械覆盖件常用材料

传统的板材分为冷轧钢板和热轧钢板两种。热轧钢板强度相对较低，表面质量较差（有氧化皮、表面质量差），但塑性好，一般为中厚板；冷轧钢板强度高、硬度高、表面质量高，一般为薄板，可以作为冲压用板。由于覆盖件特殊的用途及其工艺特点，所以农业机械覆盖件应选用高强度、高质量、耐腐蚀的冷轧钢板。生产中用到的冷轧钢板通常有以下三类：

1）深冲压用冷轧薄钢板，如 08Al、08F、08、10F、10 等。

2）日本冷轧碳素薄钢板，如 SPCC、SPCD、SPCE 等。

3）德国冷轧薄钢板，如 ST12、ST14、ST16 等，其中 ST12 是普通冷轧薄钢板，ST14 是深拉深级的冷轧薄钢板，ST16 是超低碳超深冲级冷轧薄钢板。

常用冷轧钢板的性能见表 3-1。

表 3-1　常用冷轧钢板性能

材料种类	材料牌号		屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)
深冲压用冷轧薄钢板	08Al	ZF	255 ~324	196	44
		HF	255 ~333	206	42
		P	255 ~343	235	42
	08F	Z	275 ~363	—	34
		S	275 ~383	—	32
		P	275 ~383	—	30
	08	Z	275 ~392	—	32
		S	275 ~412	—	30
		P	275 ~412	—	28

（续）

材料种类	材料牌号		屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)
深冲压用冷轧薄钢板	10	Z	294 ~ 412	—	30
		S	294 ~ 432	—	29
		P	294 ~ 432	—	28
	15	Z	333 ~ 451	—	27
		S	333 ~ 471	—	26
		P	333 ~ 471	—	25
	20	Z	353 ~ 490	—	26
		S	353 ~ 500	—	25
		P	353 ~ 500	—	24
日本冷轧碳素薄钢板	SPCC		—	270	28
	SPCD		240	270	30
	SPCE		220	270	32
德国冷轧薄钢板	ST12		280	270 ~ 310	28
	ST14		220	270 ~ 350	36
	ST16		180	250 ~ 300	39

注：表中 08AlZF、08AlHF 的力学性能适用的板料厚度 < 1.2mm。

3.3.4　农业机械覆盖件材料的发展趋势

在当今世界，新材料的发展水平已成为衡量一个国家科技发展水平和国民经济实力的重要标志之一。随着农业机械生产的进一步发展，材料加工的技术进步和现代工业的发展对材料提出越来越高的要求。安全、环保、节能是新材料应用的永恒主题。目前，除了常规的材料外，一些新的材料，如高强钢板、超高强钢板、高性能先进复合材料等越来越多地应用于农业机械覆盖件的生产中。

1. 高强钢板

高强钢板应用的意义在于节能、环保、安全、低成本。与普通钢板相比，高强钢板具有更高的屈服强度和抗拉强度，而硬化指数 n 值和厚向异性系数 r 值比较低，伸长率也较低，因此高强钢板的成形性能比普通钢板要差。在成形时，高强钢板比普通钢板更易产生破裂、起皱以及尺寸和形状精度不良的倾向。此外，与普通低碳钢板相比，由于高强钢板屈服强度的提高带来了更大的弹性变形，尤其是冲压件的回弹更明显，所以，高强钢板应用面临的主要问题是回弹、模具磨损及焊接不良等，这对模具设计与选材提出了一些特殊要求。超高强钢成形模具设计的主要关注点有：①冲压成形需要更大的力，需要增加额外模具特征来进行回弹补偿，从而增加了成形时产生的热和模具的磨损。②超高强钢成形所要求的高冲压力，增加了对模具材质的要求，主要集中在三个主要方面：模具基体需要更高的刚度和韧性以避免失效，采用更硬的模具表面以预防磨损以及关注模具的表面粗糙度。

2. 新型树脂材料 PDCPD

PDCPD（聚双环戊二烯型耐热不饱和聚酯）是一种新型的树脂材料，是以双环戊二烯为主原料的全新烯烃类交联型热固化性树脂。该聚合物是向 DCPD 中加入催化剂，如含 W 或 Ru、Os、Al 的杂多酸盐或金属有机化合物，在瞬间双键聚合和开环聚合形成的。在合成时，将原料分为两组，甲组分为 DCPD、催化剂、稳定剂和添加剂，乙组分为双环戊二烯、助催化剂及其他调节剂，同时注入模具，在极短的时间内可形成网状高分子聚合物。可以通

过专用模具反应注塑，在很短的时间内形成具有复杂形状和亮丽外形及良好工程性能的材料。该聚合物耐高温，抗弯、抗冲击强度高，力学性能好，阻燃性能好，耐酸碱腐蚀、抗摩擦性是普通塑料难以比拟的，集优异的刚性和抗冲击强度于一身，密度较低。由于不含易碎的玻璃纤维，不产生断裂，表面质量好，生产工艺简单、模具易制造，因此国外已广泛使用PDCPD材料，用于工程机械、拖拉机覆盖件，电子设备外壳，建筑材料及各种工具零部件等制造行业。而国内拖拉机覆盖件也已经开始使用此种材料，但主要应用于一些批量不大、用冲压方法加工成本较高的零件。

PDCPD具有以下优势：

（1）大范围的成形性　由于是一种低粘度的液体状树脂，因而可得到大型的、复杂形状、厚壁成形物。

（2）廉价的设备投资　由于成形时的压力、温度较低，因而模具造价低廉，可采用廉价的RIM设备，可进行多品种、小批量及中等批量的生产。

（3）较高的物理性能　耐冲击性及刚性等较高，可得到高韧性的成形物，适用于各种外装部件、造型材料。

（4）优异的温度特性　基于温度的物理变化较小，即使在低温下也不变脆，适用于在低温环境下使用。

（5）良好的耐蚀性　具有优异的耐蚀性，尤其是耐酸、耐碱性更佳，适用于要求耐腐蚀的场合。

（6）优异的外观性　成形后，在表面形成氧化膜，与涂料的密合性较好；也可以进行镀覆，易于涂装及粘接。

（7）成形周期较短　通常不需要离型剂及二次硬化，反应时间短，可实现设备的自动化。

（8）良好的环保性　即使不使用玻璃纤维，也具有良好的物理性能，可回收，易于焚烧，无公害。

（9）丰富的品种　可用于超大型成形用途、难燃用途、镀覆用途等，可选择适用于各种用途及成形设备的品种，以满足市场需求。

3.4 农业机械覆盖件冲压工艺及其发展

3.4.1 农业机械覆盖件冲压工艺的特点和主要内容

1. 农业机械（工程机械）覆盖件冲压工艺的特点

由于覆盖件具有形状复杂、表面质量要求高等特点，与普通冲压加工相比有如下特点：

1）成形工序多。覆盖件的冲压一般要4～6道工序，多的有近10道工序。要获得一个合格的覆盖件，通常要经过下料、拉深、修边（或有冲孔）、翻边（或有冲孔）、冲孔等工序才能完成。拉深、修边和翻边是最基本的三道工序，其中拉深工序是比较关键的一道工序。

2）覆盖件拉深往往不是单纯的拉深，而是拉深、胀形、弯曲等的复合成形。不论形状如何复杂，常采用一次拉深成形。

3）由于覆盖件多为非轴对称、非回转体的复杂曲面形状零件，拉深时变形不均匀，主要成形障碍是起皱和拉裂，因此，常采用工艺补充面和拉深筋等控制变形的措施。

4）因对大型覆盖件拉深需要较大和较稳定的压边力，所以，广泛采用双动压力机。

5）为易于拉深成形，材料多采用如 08 钢等冲压性能好的钢板，且要求钢板表面质量好、尺寸精度高。

6）制订覆盖件的拉深工艺和设计模具时，要以覆盖件图样和主模型为依据。覆盖件图样是在主图板的基础上绘制的，在覆盖件图样上只能标注一些主要尺寸，以满足与相邻覆盖件的装配尺寸要求和外形协调一致，尺寸一般以覆盖件的内表面为基准进行标注。主模型是以定型后的主图板、主样板及覆盖件图样为依据制作的尺寸比例为 1∶1的覆盖件模型。它是模具、焊装夹具和检验夹具制造的标准，常用木材和玻璃钢制作。主模型是覆盖件图样必要的补充，只有主模型才能真正表示覆盖件的信息。以上是传统设计方法，由于 CAD/CAM 技术的推广应用，主模型正在被计算机虚拟实体模型代替。传统的由油泥模型到主模型的设计过程，正在被概念设计、参数化设计等现代设计方法取代，因而从根本上改变了设计制造过程，大大提高了设计与制造周期，提高了制造精度。

2. 覆盖件冲压工艺方案设计的主要内容

冲压工艺是冲压与模具的核心技术，是衡量冲压技术的标志，是冲压成功的关键。冲压成形工艺决定着产品生产的质量、成本和生产效率。确定合理的工艺方案是获得理想覆盖件的第一步，它可以改善工件的成形工艺性，降低工件成形的复杂程度。覆盖件冲压工艺设计的内容包括：①零件的冲压工艺性分析；②合理工艺方案的确定；③模具结构的选择；④冲压设备的确定；⑤冲压工艺卡的编制。

在冲压工艺的安排方面需要考虑很多因素，这些因素直接影响着冲压工艺的成败，其关键部分主要包括下面几个内容：

（1）材料利用率的情况　对于覆盖件的加工成本，材料成本一般占零件总成本的 60%，所以提高板材利用率对于降低零件成本，提高产品竞争力有着重要的意义。材料利用率的高低也是衡量工艺好坏的重要因素之一，其关键影响因素包括排样方法、拉深筋、拉深深度、工艺补充面、输送方向等。

（2）零件成形质量的保证情况　冲压件质量的好坏是衡量工艺优劣的另一个关键要素，其影响因素包括：冲压角度、工艺补充面、工序件定位、送料方向、合理的工序内容和模具结构等。

（3）成形工序的数量和先后顺序的安排　成形工序的数量和先后顺序的安排是冲压工艺的重要内容，不仅决定着零件质量的好坏，而且对生产效率也有很大的影响，所以合理的工序数量和先后顺序的安排是一份冲压工艺方案成功的关键。覆盖件冲压工序数量是衡量冲压工艺水平的重要标志之一，它将直接影响压力机数量、工装数量、传送装置数量、占地面积、人员配备、动力消耗等。所以，冲压工序数是影响冲压厂投资规模和冲压件制造成本的关键因素。同时冲压工序数的数值，又在很大程度上取决于产品开发时冲压件工艺性的好坏、设计者冲压工艺知识积累的程度以及模具设计制造水平的高低。

（4）合理的拉深方向、压料面和工艺补充面的设置　合理的拉深方向、压料面以及工艺补充面的设置会对零件质量产生很大影响。合理的拉深方向不仅是获得理想拉深件的保证，而且将对后续冲压工序安排产生较大的影响。例如，除了采用常规方法确定拉深方向外，对于一些左右件对称、半敞开的空心覆盖件常采用成双拉深的方法，这种方法可以消除工件因受力不均而引起的坯料移动，改善冲压条件，提高拉深件的质量。合理的压料面不仅能保证压料面上的材料不起皱，还可以保证拉入凹模的材料不皱不裂。对于一些形状复杂、结构不对称的覆盖件，直接成形较困难，设置必要的工艺补充面和工艺切口有利于改善拉深工艺性，提高拉深件的质量。

3.4.2　农业机械覆盖件冲压工艺设计方法和流程

1. 冲压工艺过程图（DL 图）

DL（Die Layout）图实际上就是模具工艺流程图，描述的是一个产品成形的几个步骤，通过几个步骤的连续工作，完成最终产品的形状并达到相应尺寸要求，现在国内主要用于汽车覆盖件模具。DL 图的要求非常高，除了有构件尺寸、角度以及详细的工艺流程外，还要附有顶杆分布图、废料排向示意图等，如果做了 CAE 分析，最好将拉深完材料后收缩的状态表达一下。通常 DL 图采用 AutoCAD 软件进行绘制，但还没有详细的绘制标准，一些要求基本为行业内默认使用的规范。一般来讲，DL 图的内容应该包括：

1）工序划分及加工内容。

2）工艺流程图及冲压设备。

3）各工序冲压方向机斜楔加工方向。

4）各工序送料方向。

5）各工序加工内容视图表示及示意简图。

6）基准定位孔（C/H），型面检查点（C/P）。

7）基准点与冲压中心的关系。

8）拉深件工艺补充形状、位置及凸模轮廓线。

9）拉深毛坯形状、尺寸。

10）修边冲孔位置、废料刀布置及废料流向。

11）制件变形区预测及措施。

12）强力镦死区。

13）斜楔类型及角度。

14）对各工序模具结构给予的前期指导。

15）其他需要说明的事项（左右件、技术要求等）。

图 3-11 所示为仪表板侧板 DL 图。

2. 冲压工艺文件（工艺卡）

冲压工艺卡是冲压成形工艺常用的表达形式，它是用表格形式表达工艺设计内容的卡片。冲压工艺卡通常用来指导生产现场的操作，包含板材材料、冲压工序安排、选用设备、零件检测、人员配备以及工时等信息，如图 3-12 和图 3-13 所示。由于临时性设备、工艺装备或材料等原因，工艺人员有时需要根据实际情况编制临时冲压生产工艺卡，临时冲压生产工艺卡都有有效时间的规定。

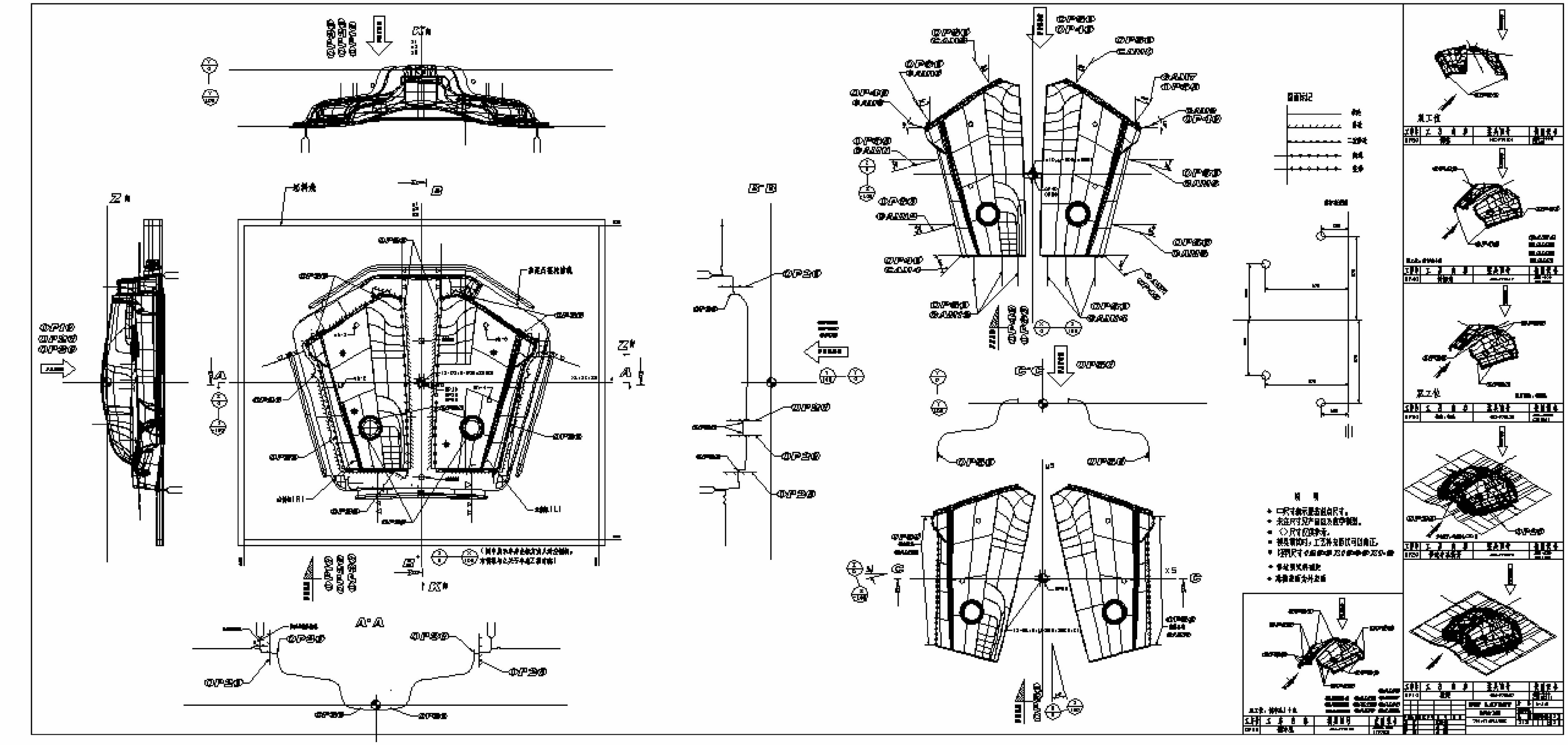
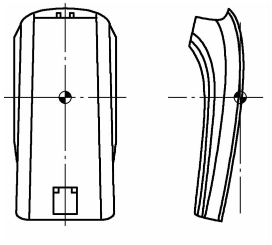


图 3-11　仪表板侧板 DL 图

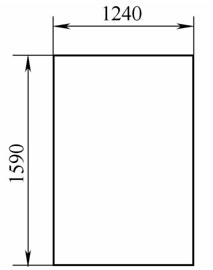
文件编号	CV-M3000,47B,403	（公司名称）	冲压工艺过程卡	生产节拍	0.92	产品型号	M3000	零件号	M3000,47B,403
版本号	1.0			外观等级	B	每台数量	1	零件名称	机罩上盖板

零件草图



1315×645×280

排样图



产生废料规格

材料	名称	冷板	材料技术要求	Q/BQB 403—2003	材料厚度/mm	1.0±0.09	单件净重/kg	9.86	路线	各、冲二 10 跨(焊 -5 跨)
	牌号	ST14	剪后毛坯尺寸/mm	(1590±1)×(1240±1)	出制件数量	1	剪后毛坯净重/kg	15.48		

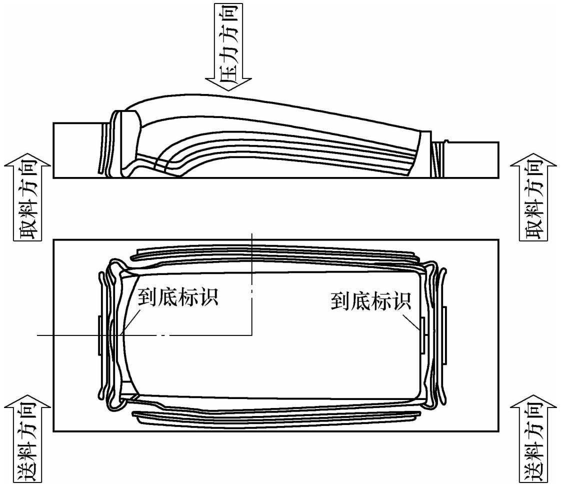
工序号	工序名称	工装号	设备		同时加工件数	测量装置		工位器具		辅助材料(g)			定员	单件工时/min	准结工时/min	安全工具
			型号	平面号		名称	规格	编号	容量	名称	规格	数量				
10	拉深	431-FM0124	E40600+400	1Q100	1			通用托盘	50	拉深油	1 号	5	4	0.92	264	双手按钮
20	修边冲孔	405-FM0493	E45600-MB	1M007	1			通用框 B	50	机油	32#	0.2	4	0.58	174	双手按钮
30	修边冲孔侧冲	405-FM0494	E45600-MB	1M006	1			通用框 B	50	机油	32#	0.2	4	0.58	174	双手按钮
40	翻边侧冲孔	405-FM0495	E45600-MB	1M005	1			通用框 B	50	机油	32#	0.2	4	0.58	174	双手按钮
50	侧翻边	432-FM0183	J39-800	1M004	1			通用框 B	50	机油	32#	0.1	4	0.58	174	双手按钮
60	侧翻边	432-FM0186	J39-800	1M003	1			专用框	20	机油	32#	0.1	4	0.58	174	双手按钮
1	检验															

										批准	审核	校对	编制	第 1 页 共 1 页
标记	处数	依据	签字	日期	标记	处数	依据	签字	日期					

图 3-12　冲压工艺过程卡

文件编号	CV- M3000,47B,403(10)	(公司名称)	冲压工序卡	外观等级	B	零件号	M3000,47B,403
版本号	1.0					零件名称	机罩上盖板

材料名称	冷板	材料厚度/mm	1.0±0.09	工序号	10	工装号	431-FM0124	定员	4
材料牌号	ST14	剪后毛坯尺寸/mm	(1590±1)×(1240±1)	工序名称	拉深	设备型号	E40600+400	单件工时	0.92



平面号	1Q100		准结工时	264
工位器具	编号: 通用托盘	容量: 50	同时加工件数	1
模具尺寸/mm	2300×1600×1400	托杆顶出高度		
模具重量/t	10.57	气垫工作行程		
附件定位方式	边定位	托杆尺寸及数量		
制件托起方式		托杆尺寸及数量		
安全因素控制	双手按钮	垫板编号		

辅助材料		
	名称	拉深油
	规格	1 号
	数量/个	5

工步号	工步内容及控制要求
1	生产前检查来料,表面平整无锈蚀
2	拉深:进料—边定位—拉深—出件—自检
3	材料涂油部位:压料面部位上下面,凹模—面加强筋处;涂油频次:前 5 件全涂油,其余每 10 件涂一次
4	自检合格后交检,检查员判定合格后才能生产

检验项目	检验内容	质量特性	自检率	检验方式
	到底标识清晰	100%		目测
	无暗伤或拉裂及明显拉毛现象	100%		目测

测量装置	名称	
	规格	

工艺参数	冲裁力	气垫压力

备注:每 90 天检修一次模具

										批准	审核	校对	编制	第 1 页 共 1 页
标记	处数	依据	签字	日期	标记	处数	依据	签字	日期					

图 3-13　冲压工序卡

3. 农业机械覆盖件冲压工艺的设计流程

农业机械覆盖件冲压工艺的设计流程如图 3-14 所示。

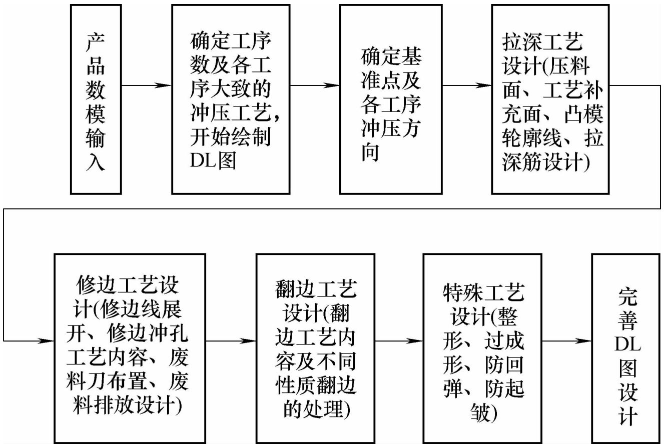


图 3-14　农业机械覆盖件冲压工艺的设计流程

3.4.3　农业机械覆盖件冲压工序

农业机械覆盖件的成形工序主要有拉深、翻边、冲孔、切边、整形等；对应的模具分别为拉深模、翻边模、冲孔模、切边模和整形模等。一般来讲，拉深工序是零件加工的第一道工序，也是最关键的一步工序，覆盖件拉深质量的好坏关系到整个工艺方案的成功与否，也直接决定着最终产品外观质量的好坏。

1. 拉深工序的工艺设计

（1）选择合理的拉深方向　选定拉深冲压方向（以下简称拉深方向），就是确定工件在模具中的三向坐标（X、Y、Z）位置。农业机械覆盖件拉深成形时选择的拉深方向是否合理，将直接影响凸模是否能进入凹模，毛坯的最大变形程度，是否能最大限度地减小拉深件各部分的深度差，是否能使各部分毛坯之间的流动方向和流动速度差比较小，变形是否均匀，是否能充分发挥材料的塑性变形能力，是否有利于防止破裂和起皱等质量问题的产生等。也就是说，只有选择了合理的拉深方向，才能使拉深成形过程顺利实现。

选择拉深方向应遵循以下原则：

1）保证能将拉深件的全部空间形状（包括棱线、肋条和鼓包等）一次拉深出来，不应有凸模接触不到的“死区”，即要保证凸模能全部进入凹模。

2）有利于降低拉深件的深度。拉深深度太深，则会增加拉深成形的难度，容易产生破裂、起皱等质量问题；拉深深度太浅，则会使材料在成形过程中得不到较大的塑性变形，覆盖件刚度得不到加强。因此，选择的拉深方向应使拉深件的深度适中，既能充分发挥材料的塑性变形能力，又能使成形过程顺利完成。

3）尽量使拉深深度差最小，以减小材料流动和变形分布的不均匀性。

4）保证凸模与毛坯具有良好的初始接触状态，以减小毛坯与凸模的相对滑动，有利于毛坯的变形，并提高冲压件的表面质量。

5）有利于防止表面缺陷。对一些表面件，为了保证其表面质量，在选择拉深方向时，对重要的部分要保证不产生拉深时出现的偏移线、颤动线等表面缺陷。

在进行拉深件设计时，要将确定的拉深方向明确标注在拉深件图样上及冲压工艺文件上。

（2）拉深工艺补充、压料面及凸模轮廓线的设计

1）工艺补充部分的设计。冲压方向确定后，为适应拉深工艺的要求，绝大多数农业机械覆盖件需要将其形状、轮廓或深度进行工艺补充，设计出拉深件，才能进行冲压成形。工

艺补充部分有两大类：①零件内部的工艺补充，即填补内部孔洞，创造适合于拉深成形的良好条件（即使是开工艺切口或工艺孔也是在内部工艺补充部分进行），这部分工艺补充不增加材料消耗，而且在冲内孔后，这部分材料仍可适当利用（如图 3-15 中的内部工艺补充部分 1）；②在零件沿轮廓边缘展开（包括翻边的展开）的基础上添加上去的，它包括拉深部分的补充和压料面两部分，这种工艺补充是为了选择合理的冲压方向、创造良好的拉深成形条件而增加的，它增加了零件的材料消耗（如图 3-15 中的外部工艺补充部分 2）。

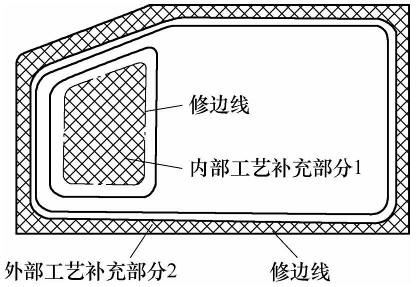


图 3-15　工艺补充示意图

工艺补充部分的设计是冲压工艺设计的重要内容。工艺补充设计合理与否，也是冲压工艺设计先进与否的重要标志，它直接影响拉深成形时的工艺参数、毛坯变形条件、变形量、变形分布以及破裂、起皱等质量问题的产生。

工艺补充设计应遵循以下原则：

① 内孔封闭补充原则。对内部有孔的零件，首先要将孔洞部位进行封闭补充，使零件成为无内孔的制作。但若该部位属于内部的局部成形部分，则要进行变形分析。一般这部分成形属于胀形变形，若其胀形变形超过材料的极限变形，需要在工艺补充部分预冲孔或切口，以减小胀形变形量。如图 3-16a 所示的零件，内部工艺补充部分不开工艺孔时的胀形变形量较大，产生破裂。经试验，确定预先冲制出工艺孔的形状、尺寸，改变了拉深成形时的变形分布和变形量。图 3-16b 所示为工艺切口的例子。

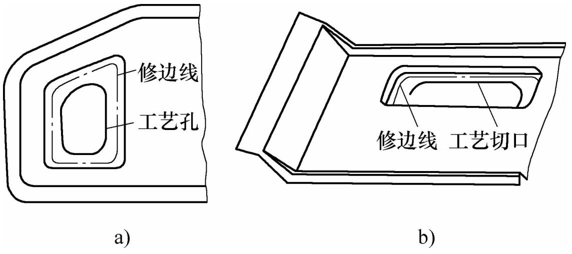


图 3-16　工艺补充上预冲孔或工艺切口示意图

② 简化拉深件结构形状原则。拉深件的结构形状越复杂，拉深成形过程中的材料流动和塑性变形就越难控制。所以，零件外部的工艺补充要有利于使拉深件的结构、形状简单化，越接近于基本形状零件，冲压成形过程中的材料流动和塑性变形就越容易控制。图 3-17a中，工艺补充简化了轮廓形状；图 3-17b 中，工艺补充增加了局部侧壁高度，使拉深件深度变化比较小；图 3-17c 中，工艺补充简化了压料面形状，有利于毛坯的均匀流动和均匀变形。

③ 对后续工序有利原则。设计工艺补充时要考虑对后续工序的影响。要有利于修边、翻边等后续工序中工序件的定位稳定、可靠，尽量能够进行垂直修边、垂直翻边，以便于采用结构简单的模具。

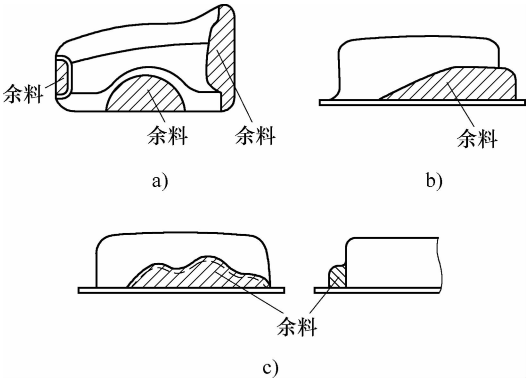


图 3-17　工艺补充简化拉深件结构形状实例

2）压料面的设计。压料面是指凹模圆

角以外且在拉深开始时，凹模与压边圈压住毛坯的部分。它是工艺补充的一个重要组成部分，对农业机械覆盖件的成形起着重要作用。有的拉深件的压料面全部为工艺补充部分，有的拉深件的压料面则由零件的法兰部分和工艺补充部分共同组成。

在开始拉深前，压边圈将毛坯压紧在凹模压料面上，拉深开始后，凸模的作用力与压料面上的阻力共同形成毛坯的变形力，使毛坯产生塑性变形，实现拉深成形过程。通过压料面的变化，可以使拉深件的深度均匀，毛坯流动阻力的分布满足拉深成形的需要。压料面的设计将直接影响到压料面毛坯向凹模内流动的方向与速度、毛坯变形的分布与大小以及破裂、起皱等问题的产生。压料面设计不合理，还会在压边圈压料时形成皱折、余料、松弛等。

设计压料面时要考虑两种情况：①压料面的一部分就是拉深件的法兰面，这种拉深件的压料面形状是已定的，一般不改变其形状，即使是为了改善拉深成形条件而作局部修改，也要在后续工序中进行整形校正；②压料面全部属于工艺补充部分。后一种情况下，主要以保证良好的拉深成形条件为主进行压料面的设计。

压料面设计时应遵循以下原则：

① 压料面形状尽量简单化，以水平平面压料面为最好。在保证良好的拉深条件的前提下，为减少材料消耗，也可设计成斜面、平滑曲面（如单曲面、锥面）或平面曲面组合等形状，但不要设计成平面大角度交叉，高度变化剧烈的形状，或在压料面上有凸起或凹坑。因为这些形状的压料面会造成材料流动和塑性变形的极不均匀分布，在拉深成形时产生起皱、堆积、破裂等现象。

② 水平压料面（见图3-18a）应用得最多，其阻力变化相对容易控制，便于调模时调整到最有利于拉深成形所需要的最佳压料面阻力状态。向内倾斜的压料面（见图3-18b），对材料流动阻力较小，可在塑性变形较大的深拉深件时采用。但为保证压边圈强度，一般控制压料面倾斜角 $\alpha<40°\sim50°$。向外倾斜的压料面（见图3-18c）的流动阻力最大，对浅拉深件拉深时可增大毛坯的塑性变形。但倾斜角 ϕ 太大，会使材料流动条件变差，易产生破裂。

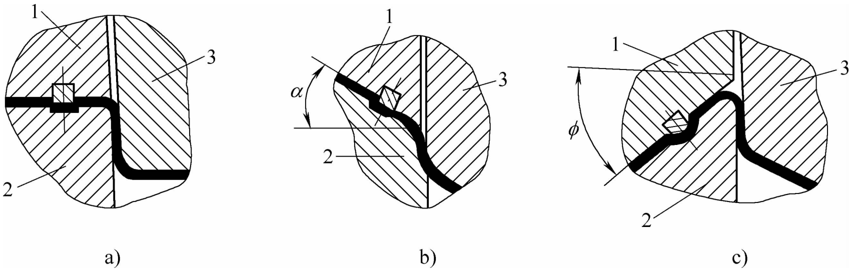


图3-18　压料面与冲压方向的关系

1—压边圈　2—凹模　3—凸模

③ 压料面断面曲线长度要小于拉深件内部断面曲线长度。

④ 压料面应使成形深度小且各部分深度接近一致。这种压料面可使材料流动和塑性变形趋于均匀，减小成形难度。

⑤ 压料面应使毛坯在拉深成形和修边工序中都有可靠的定位，并考虑送料和取件的方便。

3）凸模轮廓线的设计。凸模轮廓线是指汽车覆盖件在拉深时，拉深凸模和压料圈之间

的接触面与拉深凸模侧壁相交处的轮廓线，如图 3-19、图 3-20、图 3-21 中的 A 点。

① 当修边线在凸模顶面上时，为了减少侧壁手工研配的工作量，凸模轮廓线应按图 3-19 所示设计。

② 当修边线在压料面上时，凸模轮廓线应按图 3-20所示设计。

③ 当侧壁形状为产品形状时，凸模轮廓线应按图 3-21所示设计。

（3）拉深筋（槛）的设计

1）拉深筋（槛）的作用。拉深筋（槛）的作用力在压料面作用力中占有较大比例，且可以通过改变拉深筋的参数很容易地改变这种作用力的大小。因此，在农业机械覆盖件拉深成形中，拉深筋起着重要作用。具体表现为：

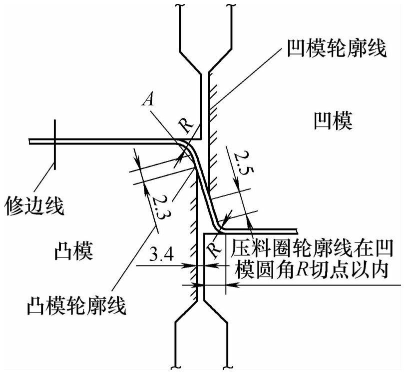


图 3-19　修边线在凸模顶面上时凸模轮廓线的设计

① 增大进料阻力，使拉深件表面承受足够的拉应力。

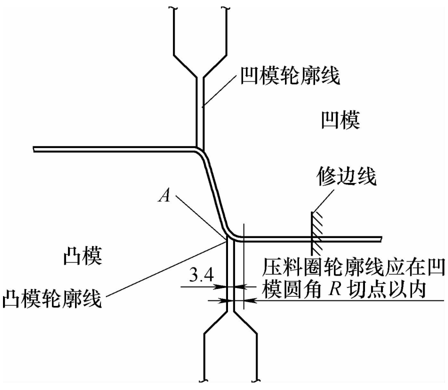


图 3-20　修边线在压料面上时凸模轮廓线的设计

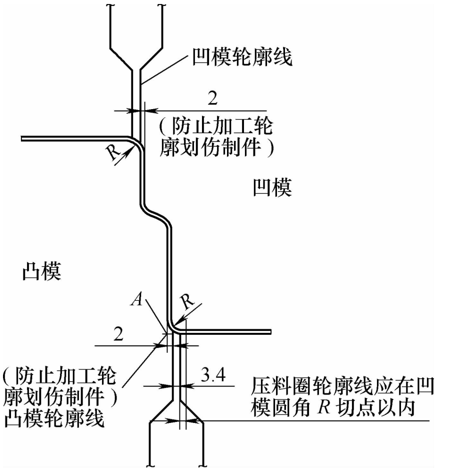


图 3-21　侧壁形状为产品形状时凸模轮廓线的设计

② 调节材料的流动情况，使拉深过程中各部分流动阻力均匀，或使材料流入模腔的量适合工件各处的需要，防止出现“多则皱，少则裂”的现象。

③ 扩大压边力的调节范围。在双动压力机上，调节外滑块四个角的高低，只能粗略地调节压边力，并不能完全控制各处的进料量正好符合工件的要求，因此还需要靠压边面和拉深筋来辅助控制各处的压边力。

④ 当有拉深筋时，有可能降低对压边面的表面粗糙度要求，这便降低了大型拉深模的制造劳动量。同时，由于拉深筋的存在，增加了上、下压边面之间的间隙，使压边面的磨损减少，因此提高了模具寿命。

⑤ 纠正材料不平整的缺陷，并可消除产生滑带的可能性。因为材料在通过拉深筋产生起伏后再向凹模流入的过程，相当于辊压矫平的作用。

2）设计拉深筋（槛）时应遵循以下几个原则。

① 确保冲压件成形的拉深筋阻力。设计时拉深筋的高度应取得大些，圆角应取得小些。

实际模具调试时，修正这些参数对改变阻力是最有效的。

② 保证冲压件成形质量和表面质量。较大的拉深筋阻力可提高冲压件的形状精度和刚度，此时拉深筋的高度应取得大些，圆角应取得小些。但圆角过小会使冲压件表面产生压痕或划伤。综合考虑，可将拉深筋的圆角放大些，高度值进一步增大，以补偿拉深筋阻力的损失。

③ 提高拉深筋的使用寿命。在拉深筋设计时应考虑拉深筋的磨损问题，拉深筋的圆角过小，成形中其磨损就会很严重。

④ 有利于拉深筋的加工和修整。在实际模具调试时，拉深筋的圆角会越修越大，高度会越修越小。因此设计时应留出余量，而且应着重考虑高度值。

3）拉深筋（槛）的种类及应用。

① 拉深筋。拉深筋的断面呈半圆弧形状。拉深筋一般装在压边圈上，而凹模压面上开出相应的槽。由于拉深筋比拉深槛在采用的数量上、形式上都较灵活，故应用比较广泛。但其流动阻力不如拉深槛高。拉深筋的结构如图 3-22a 所示，其尺寸参数可查表 3-2 。

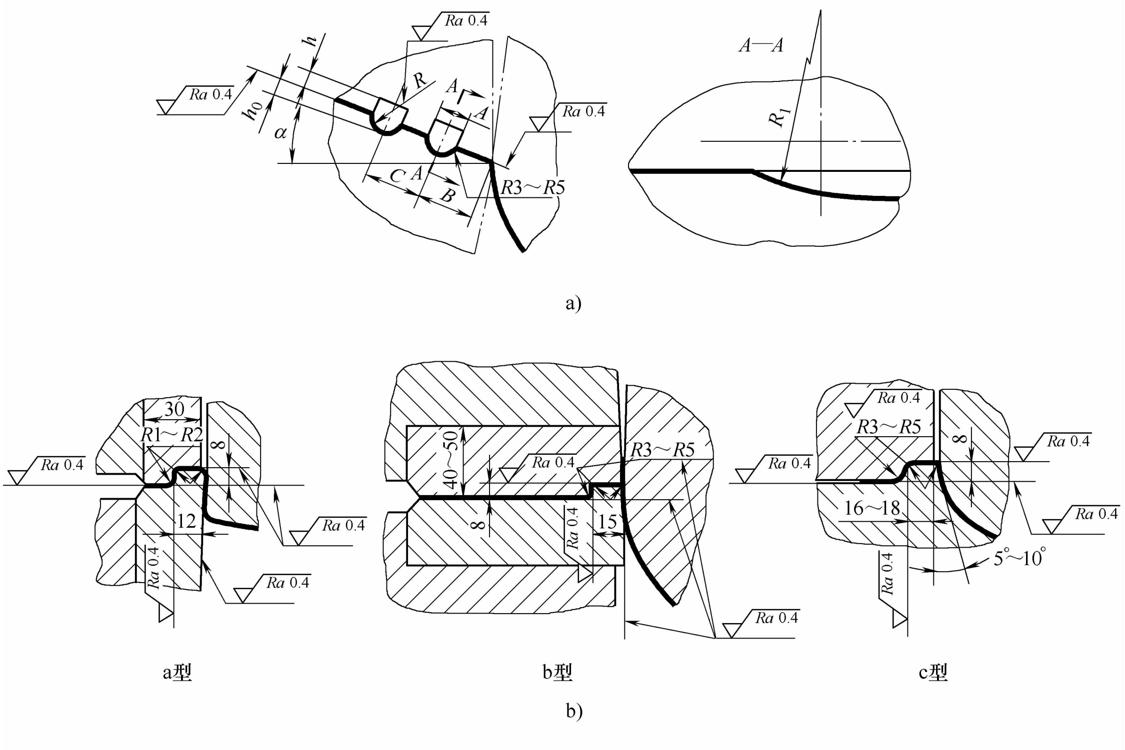


图 3-22　拉深筋（槛）的结构

a）拉深筋　b）拉深槛

表 3-2　拉深筋的尺寸参数　　（单位：mm）

序号	应用范围	A	h_0	B	C	h	R	R_1
1	中小型拉深件	14	6	25～32	25～30	5	7	125
2	大中型拉深件	16	7	28～35	28～32	6	8	150
3	大型拉深件	20	8	32～38	32～38	7	10	150

② 拉深槛。拉深槛的断面呈梯形，类似门槛，安装于凹模的洞口。它的流动阻力比拉深筋大，主要用于拉深深度浅而外形平滑的零件，这可减小压边圈下的凸缘宽度及毛坯尺寸。其结构及尺寸如图 3-22b 所示，其中 a 型用于拉深深度 <25mm 的零件；b 型用于拉深深度 >25mm 的零件；c 型用于整体铸铁凹模，生产批量小的场合。

4）拉深筋（槛）的布置。拉深筋的数目及位置须视零件外形、起伏特点及拉深深度而定。

按拉深筋的作用，其布置原则见表 3-3 。

按凹模口几何形状的不同，拉深筋的布置方法如图 3-23 及表 3-4 所示。筋条位置一定要保证与毛坯流动方向垂直。

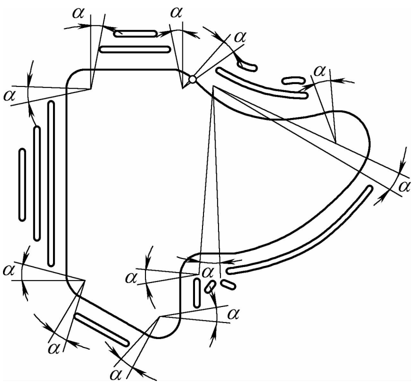


图 3-23　凹模口的形状及拉深筋的布置方法（$\alpha=8°\sim12°$）

表 3-3　拉深筋的布置原则

序号	要　　求	布　置　原　则
1	增加进料阻力，提高变形程度	放整圈的或间断的 1 条拉深槛或 1～3 条拉深筋
2	增加径向拉应力，减小切向压应力，防止毛坯起皱	在容易起皱的部位设置局部的短筋
3	调整进料阻力和进料量	1）拉深深度大的直线部位放 1～3 条拉深筋 2）拉深深度大的圆弧部位不放拉深筋 3）拉深深度相差较大时，在深的部位不设拉深筋，浅的部位设拉深筋

表 3-4　按凹模口几何形状布置拉深筋的方法

序号	形　　状	要　　求	布　置　方　法
1	大外凸圆弧	补偿变形阻力不足	设置 1 条长筋
2	大内凹圆弧	1）补偿变形阻力不足 2）避免深拉深时，材料从相邻两侧凸圆弧部分挤过来而形成皱纹	设置 1 条长筋和 2 条短筋
3	小外凸圆弧	塑流阻力大，应让材料有可能向直线区段挤流	1）不设拉深筋 2）相邻筋的位置应与凸圆弧保持 8°～12°夹角关系
4	小内凹圆弧	将两相邻侧面挤过来的多余材料延展开，保证压边面下的毛坯处于良好状态	1）沿凹模口不设拉深筋 2）在离凹模口较远位置设置 2 条短筋
5	直线	补偿变形阻力不足	根据直线长短设置 1～3 条拉深筋（长者多设，并呈塔形分布；短者少设）

（4）拉深毛坯形状及展开　农业机械覆盖件毛坯一般分为矩形毛坯和形状毛坯。

矩形毛坯是整张的冷轧钢板由剪板机按设计尺寸剪切后获得的，而形状毛坯则由开卷落料模或在拉深模中加落料功能获得。

无论哪种毛坯，均存在展开问题。对于一般旋转体，对称件拉深毛坯的展开可以按成形前和成形后的面积相等的原则计算。但对于汽车覆盖件，由于其形状复杂、变化不规则也不均匀，且材料存在相互位移，所以不能用面积相等的原则计算。

目前，在设计阶段常采用截面尺寸法来获得毛坯的大致形状和尺寸，在拉深模制造完成之后再试验出最小的毛坯，以便获得高的材料利用率。

1）拉深变形时。首先对拉深工序件在纵横方向上各取典型截面或取数个等距截面，如图 3-24 所示的货车顶盖。凸模最初接触比较平的区域时，该截面拉深毛坯

$$B = 130 + A(1 - k)$$

A 的取值应由产品形状决定，其中系数 k 取值如下：

$k = 0$ 时，圆形拉深筋，进料方向与其垂直；

$k = 0.04$ 时，方形拉深筋；

$k = 0.02$ 时，圆形拉深筋，进料方向与其平行。

2）胀形变形时。如图 3-25 所示，拉深毛坯 $L = b + 70$，其中 b 为拉深凹模口尺寸。

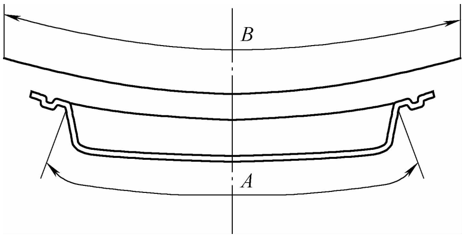


图 3-24　拉深变形时毛坯展开

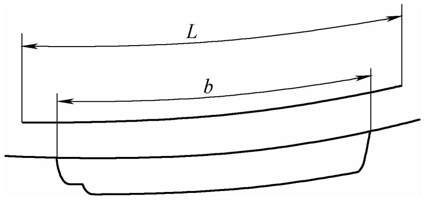


图 3-25　胀形变形（浅拉深）时毛坯展开

在求出数个典型截面的毛坯长度后，再与角部（相当于矩形盒角部）形状的毛坯展开圆滑过渡连接，从而获得近似的展开形状和尺寸，如果形状近似于矩形，则应简化成一定尺寸的矩形毛坯。

此外，随着计算机辅助工程（CAE）技术的日渐成熟和广泛使用，基于有限元模拟技术的毛坯展开将会逐渐替代手工展开，将会使农业机械覆盖件毛坯展开的精度和速度大大提高。

2. 修边冲孔工艺设计

（1）修边冲孔冲压方向的确定　修边冲孔的冲压方向设计按考虑顺序有以下原则：

1）刃口强度。刃口强度由孔边距、孔间距、刃口有效厚度的绝对值和相对值，以及刃口的锐角来决定，还与刃口材料与热处理和冲压材料的力学性能及状态相关。在所有的影响刃口强度的因素中，除孔间距只与冲压工序数量相关而与冲压方向无关外，其余因素均应在确定冲压方向时认真考虑。

① 模具刃口有效厚度。如图 3-26 所示，修边线无论是在型面上还是在法兰上，当修边线与产品侧壁距离很小时，均要选取产品正置冲压方向。

② 孔边距。若在型面上冲孔，当孔与产品侧壁的距离很小时，则只能采用产品倒置冲压方向，如图 3-27a 所示。若在法兰面上冲孔，当孔与产品侧壁的距离很小时，则采用产品正置冲压方向，如图 3-27b 所示。

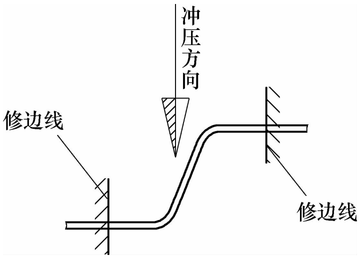


图 3-26　修边冲压方向的确定

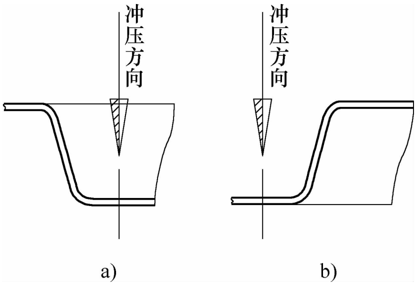


图 3-27　冲孔冲压方向的确定
a）孔在型面时　b）孔在法兰时

③ 修边冲孔复合。在修边冲孔复合时，若发生修边和冲孔对冲压方向要求不一致时，应遵循改善刃口强度的原则，将冲压方向一致的边与孔放到一道工序中。

2）精度质量。这里的精度是指冲压件由于冲压方向而产生的误差，是与冲压方向相关的精度。主要包括两方面：

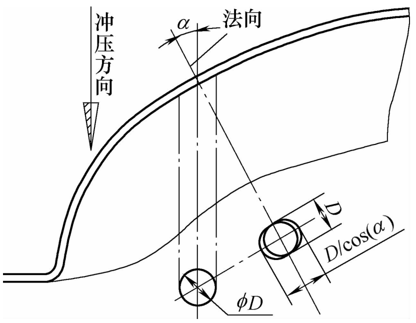


图 3-28　冲压方向和孔法向不重合产生的尺寸偏差

① 尺寸、形状、位置偏差。如图 3-28 所示，当产品要求的修冲尺寸为沿型面的法向，但冲压方向与修冲法向不重合而成一定夹角时（图3-28中的 α 角），会使修边冲孔的尺寸、形状、位置产生偏差。这种偏差仅与冲压方向有关，而与制造精度无直接关系。因此，在选择修边冲孔的冲压方向时，要充分考虑由于冲压方向和产品法向不重合带来的误差。当产品对边或孔（图 3-28 中的 D）有尺寸公差要求时，应注意选择合理的冲压方向和刃口尺寸，以便冲压出合格产品。当产品修冲尺寸为一般公差时，考虑到冲裁时产生侧向力，为减小工作零件所受切应力，此时冲压方向和产品修冲尺寸的法向夹角 $\alpha <$ 10° ~ 15°。

② 冲裁断面质量。冲裁断面质量主要包括断面垂直度、毛刺大小、光亮带方向。而修边冲压方向与制件型面法线方向的夹角大小将影响断面垂直度与毛刺大小，即夹角过大将在断裂面产生撕裂，使断面倾斜角与毛刺增大。断面的垂直度是指实际剪切面和刃口法线的夹角，该角度过大，会使冲压件尤其是外围法兰边如刀锋一样锋利，会伤害操作工人。毛刺应尽量避免存在于冲压件的装配表面上，以免影响装配间隙和质量。而光亮带应尽可能朝向后序翻边或翻口的外表面，以防止翻边或翻口外表面材料纤维拉伸变长而引起破裂。

（2）修边冲孔工序分配　修边冲孔工艺设计的另一项重要内容就是在确定修边和冲孔的类型后，再对其进行工序分配，即确定某一条边或某一个孔在哪一道工序冲出。而在进行这一项工艺设计时要充分考虑模具的结构和强度。

从模具工作部分的强度考虑，当孔与孔、孔与边、边与边的最小距离小于表 3-5 给出的最小值时，则必须放到两道冲压工序中来实现。

3. 翻边工艺设计

一般来说，翻边工序是冲压件的轮廓形状或立体形状成形的最后一道加工工序。翻边部分主要用于冲压件之间的连接（焊接、铆接、粘接等），有的翻边是产品流线或美观方面的要求。

表 3-5　修边冲孔工作部分最小距离　　（单位：mm）

料厚 t	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
最小距离 a	1.4	1.6	1.8	2	2.3	2.5	2.7
料厚 t	1.2	1.5	1.75	2	2.1	2.5	2.75
最小距离 a	3.2	3.8	4.3	4.9	5	5.8	6.3
料厚 t	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
最小距离 a	6.7	7.6	8.5	9.3	10	12	15

翻边冲压方向对翻边工艺的难易及零件的精度具有重要影响，正确的翻边方向，应对翻边变形提供尽可能的有利条件，使凸（凹）模运动方向与翻边轮廓表面垂直，以减小侧向压力，使翻边件在翻边模中的位置稳定。

图 3-29 所示为覆盖件的翻边示意图。箭头表示翻边方向，即凸（凹）模运动方向。图 3-29a 所示为凸模作垂直运动完成翻边。对于垂直向上的翻边，修边件开口向上放置比较稳定且便于定位。另外，还可以用气压垫压料，在条件允许的情况下，应尽量采用。

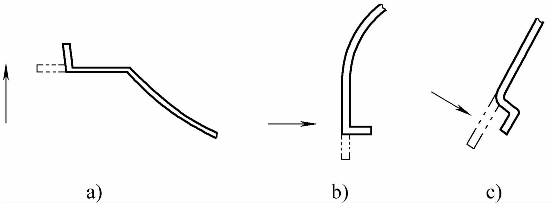


图 3-29　覆盖件的翻边示意图

图 3-29b、c 所示为凹模作水平或倾斜运动完成翻边，修边件必须开口向下放在翻边凹模上。

4. 整形工艺设计

为保证冲压件能顺利成形，往往在拉深工序中需对产品的某些形状和特征进行改动，如加大圆角，对位于压料面的制件形状进行模糊处理等，而这些产品形状的恢复一般是通过整形工艺来实现的。另外，由于冲压缺陷和拉深变形不均匀导致拉深修边后的制件产生变形，而产品又对这些形状有特别要求，如油底壳、气缸盖罩等零件，产品出于密封性的考虑，对产品上的大平面有平面度要求，此时拉深修边后的零件往往不能满足这一要求，这时也需要通过整形来满足这些特殊要求。

整形工艺虽然是覆盖件冲压工艺的一种，但工艺比较简单，其输入的是拉深或拉深修边后的工序制件，要通过该工艺获得符合要求的制件最终形状。因此，整形通常不会被作为一道单独的工艺，即出于经济性考虑不会单独用一套整形模去实现整形工艺。所以在覆盖件冲压工艺设计时，通常把整形工艺和翻边工艺或修边冲孔工艺合并，形成翻边整形或修边冲孔整形的复合工艺。

3.4.4　农业机械覆盖件冲压通常采用的工艺流程

目前，农业机械覆盖件成形大多采用拉深—修边（冲孔）—翻边—整形的工艺流程。如前所述，农业机械覆盖件一般都是一次拉深成形，但是由于零件的复杂性，修边、翻边和整形往往不止一次。例如，拖拉机的机罩前脸，就需要多次的修边冲孔、翻边等工序才能最终成形，具体成形过程见本章第 3.7 节的农业机械覆盖件冲压生产案例分析。

除上述常见工艺流程外，有少部分覆盖件没有拉深工序，而是弯曲成形，如挡泥板加强筋，见本章 3.4.6 节。

3.4.5　农业机械覆盖件的主要成形障碍及其防止措施

由于覆盖件形状复杂，多为非轴对称、非回转体的复杂曲面形状的零件，因而决定了拉深时的变形不均匀，所以成形时的起皱和开裂是其主要成形障碍。

1. 起皱原因及其防止措施

（1）起皱原因　覆盖件拉深过程如图 3-30 所示，当板料与凸模刚开始接触，板面内就会产生切向压应力，随着拉深的进行，当切向压应力超过板料的临界压应力值时，板料就会失稳起皱。

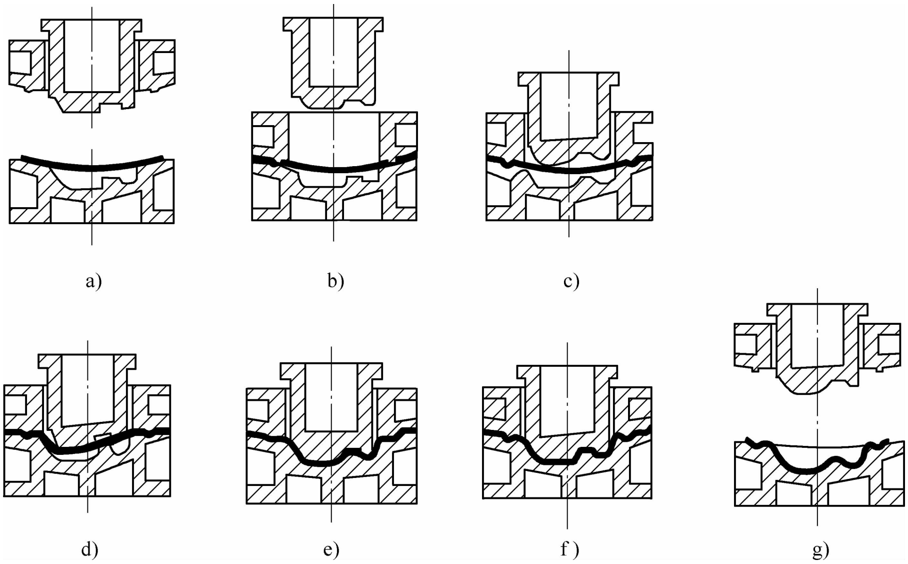


图 3-30　覆盖件拉深过程示意图

a）放入坯料　b）压边　c）板料与凸模接触　d）拉入材料　e）压型　f）下死点　g）卸载

（2）起皱位置　起皱主要发生在零件的外边缘，尤其是在曲率半径较小的拉深部位，如图 3-31 所示。

（3）防止措施　防止措施有：增加压边力和工艺补充材料或设置拉深筋。

2. 开裂原因及其防止措施

（1）开裂原因　拉深时如果局部拉应力过大，则会导致局部大的胀形而开裂。

（2）开裂位置　主要发生在圆角部位，开裂部位的厚度严重变薄。如果凸模与坯料的接触面积过小、拉深阻力过大等都有可能导致材料局部胀形过大而开裂（见图 3-32）。

（3）防止措施　应从覆盖件的结构、成形工艺以及模具设计等多方面采取相应的措施。

1）在覆盖件的结构上，可采取的主要措施有：各圆角半径尽量大些；曲面形状在拉深方向的实际深度浅一些，各处深度均匀一些，形状尽量简单且变化尽量平缓一些等。

2）拉深工艺方面，可采取的主要措施有：拉深方向尽量使凸模与坯料的接触面积大些，选择合理的压料面形状和压边力；使压料面各部位阻力均匀适度、降低拉深深度、开工艺孔和工艺切口等。

3）在模具设计上，可采取的措施有：设计合理的拉深筋，采用较大的模具圆角，使凸模和凹模间隙合理等。

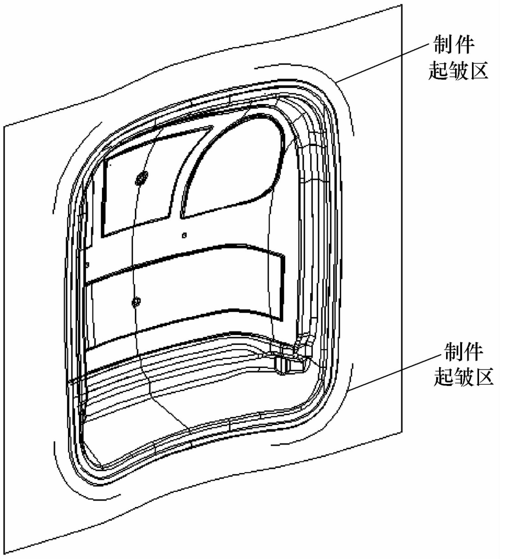


图 3-31　覆盖件起皱位置示意图

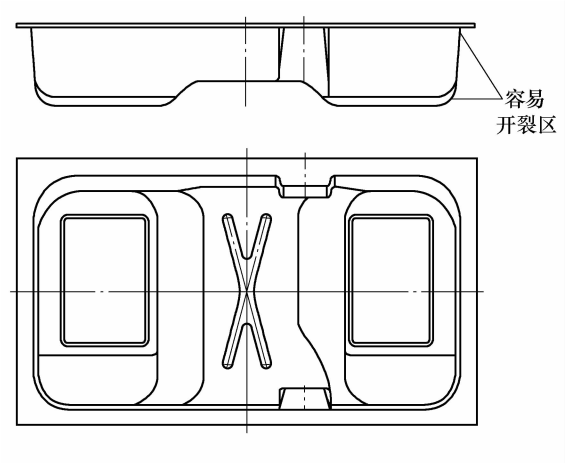


图 3-32　覆盖件开裂位置示意图

除了起皱和开裂的质量缺陷外，成形表面形状不良、尺寸精度不合格也是农业机械覆盖件生产中容易出现的问题。成形表面形状不良主要表现在拉深时的贴模性差（如起皱和表面翘曲影响贴模性），从应力分析看主要是由拉深时应力不均匀引起的压应力或切应力所致。尺寸精度不合格主要表现在拉深后零件的定形性差，产生的原因主要是由于回弹引起的，使零件尺寸与模具尺寸不一致，从应力分析看主要是拉深时产生的残余应力所引起的回弹。以上两个问题是覆盖件成形中比较难解决的问题，目前还没有完全解决。在生产中，可以采取在模具设计时给出一个补偿量的方法减小回弹，但回弹量的准确计算比较困难。随着 CAE 技术的应用，对这些缺陷的解决将会提供很好的帮助。

3.4.6　农业机械覆盖件典型零件工艺介绍

1. 挡泥板加强筋

挡泥板加强筋（见图 3-33a）是拖拉机覆盖件中常用的一类零件。它的冲压工艺并不复杂，但在压 U 形弯时一定要考虑零件的压料面，如果把 N 面作为压料面（见图 3-33b），则在压弯过程中 M 面产生压缩变形，多余的材料在 M 面上产生皱纹和折叠，严重影响产品质量；如果把 M 面作为压料面，则在压弯过程中 N 面产生伸长变形，如果变形小于材料的伸长率，则能得到质量良好的零件，所以在 U 形弯曲时将 M 面作为压料面。

2. 挡泥板左、右防溅板

图 3-34 所示为挡泥板左、右防溅板，在冲压工艺设计时有三个问题：①零件不对称，但是两个零件合在一起则可以组成对称零件。②零件本身的高低差比较大，拉深工序 M 处很容易产生皱纹，在工艺和模具设计时一定要考虑解决问题的方法。③零件中部 N 处有三个长方形孔，在拉深件上很难冲出这三个长方形孔，采用一种特殊的模具——吊楔侧冲模可以解决这一问题，它的特点是吊楔的驱动块不是装在下模上，而是装在模具的压料板上。该模具结构如图 3-35 所示。

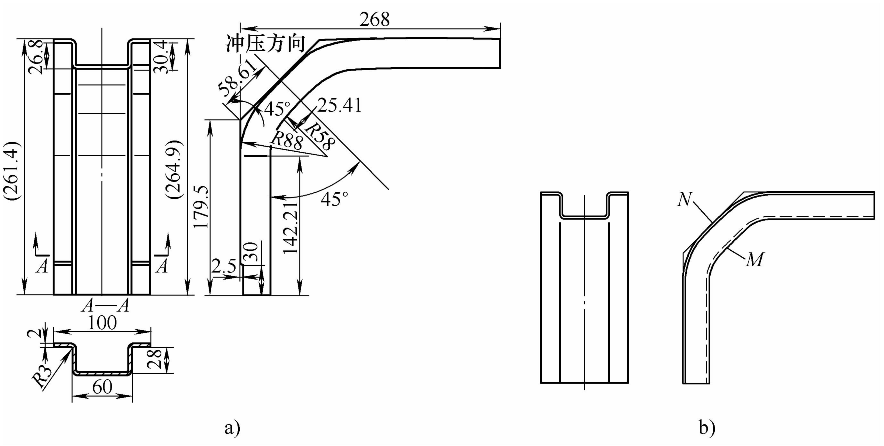


图 3-33　挡泥板加强筋

a）零件图　b）压料面选择示意图

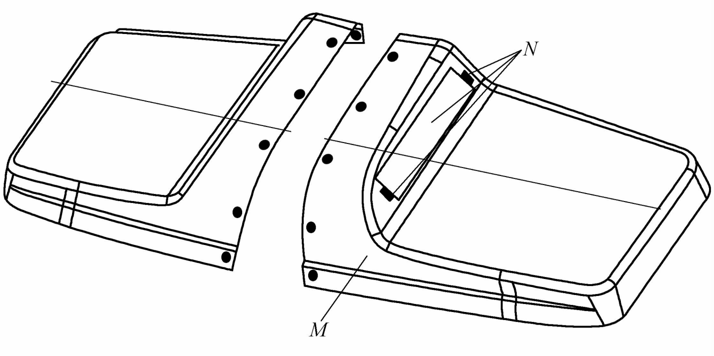


图 3-34　挡泥板左、右防溅板

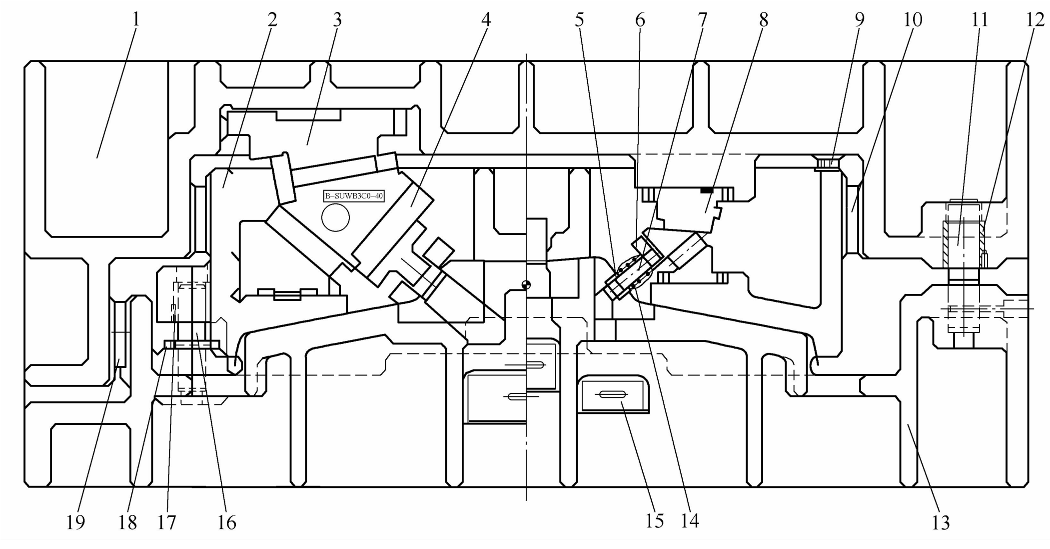


图 3-35　挡泥板左、右防溅板的吊楔侧冲模结构

1—上模座　2、4—压料板　3、8—斜楔　5—凹模套　6—凸模固定板　7—凸模　9—模块　10—压料内导板

11、16—导柱　12、17—导套　13—下模座　14—聚氨酯压料　15—废料盒　18—导柱压料　19—导板

3.4.7　农业机械覆盖件冲压技术的发展趋势

为了提高材料利用率、减少零件制造工序和降低成本，农业机械覆盖件生产企业和高等学校研究人员在覆盖件冲压加工技术方面进行不断地开发与探索。伴随计算机技术、先进制造技术以及板材成形新技术、新工艺的快速发展，农业机械覆盖件冲压技术将会在以下方面得到长足的发展。

1. 应用 CAE 技术提高产品的工艺性

工艺设计是一个过程性设计，通过经验、知识对产品信息不断分析来完成，其设计结果需要检验评价。将成形模拟技术和优化设计方法引入覆盖件冲压工艺设计，通过设计→评价→再设计的迭代过程来实现最优设计，是覆盖件冲压工艺设计发展的重要方向，也是实现集成化设计和使其摆脱个人经验束缚的有效途径之一。目前，数值模拟技术已广泛应用于覆盖件成形性检验、工序件设计结果检验中，可以说 CAE 已成为覆盖件工艺设计的检验工具和工程人员修改工艺设计的有力依据，在某些部分还成为优化设计的依据和基础。但 CAE 在工艺设计中的潜能仍未全部挖掘出来，仍需依赖设计、分析人员的经验来完成。挖掘覆盖件成形数值模拟结果中的工艺知识，用 CAE 的结果来指导工艺设计，进而实现工艺的自适应设计将是今后覆盖件工艺设计的一个发展方向。

2. 冲压同步工程技术的应用

同步工程（Simultaneous Engineering，简称 SE）的定义是由美国国防分析研究所（Institute for Defense Analysis，简称 IDA）在 1986 年提出的，于 1989 年再度提出的新定义如下：同步工程是一种系统考量的方法，用以整合现行的开发程序，主要整合产品同步的发展和其相关的程序，强调回应消费者的期望。在产品生命周期内采用差异化平行工作程序的策略决定和同时进行工作且有不同信念的交换时，使团队合作、互相信赖、资讯共享的价值具体化。同步工程技术要求产品设计开发人员与其他制造人员一起工作，在设计一开始就考虑整个产品生命周期中从概念形成到最终产品报废处理的所有因素，包括质量、成本、进度计划和客户的要求。

同步工程技术以时间为首要考虑因素，缩短产品的上市时间为主要目标，从产品的设计阶段开始就考虑到新产品的可制造性、可装配性、易维护性等因素，以缩短产品上市的周期，增强产品的市场竞争能力。同步工程的工作模式必须具有统一的产品信息模型、分布式的环境以及开放式的界面与智能化的信息管理系统。统一的产品信息模型是实现技术人员工程集成的基本条件，分布式的环境是实现同步的必要条件，开放式的界面使各部门的工程技术人员从各个相关领域和角度对同一个产品进行协同设计，智能化的信息管理系统具有控制进度、资料信息汇总的功能，是同步工程必不可少的工具。传统的产品设计过程和同步的产品设计过程如图 3-36 和图 3-37 所示。从同步的产品设计过程可以看出：应用同步工程技术在产品设计初期就可以初步进行产品工艺和模具制造（包括模具制造工艺、装配工艺、生

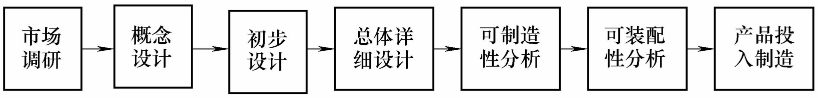


图 3-36　传统的产品设计过程

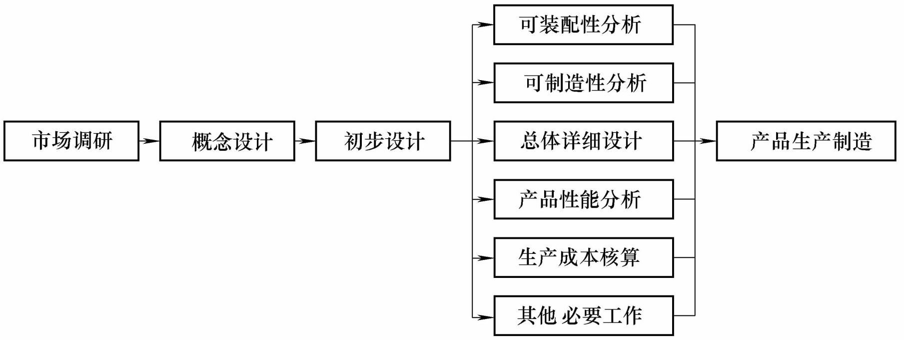


图 3-37　同步的产品设计过程

产制造和检测工艺）过程的设计和布置，并可以进行最初成形性以及可制造性的 CAE 仿真分析，根据仿真结果快速地制造出最初的产品样件。这种工作方式已经和传统的工作方式大不相同，可以很好地控制产品工艺和制造的可行性。

3. 整体冲压成形技术

整体冲压成形技术就是将以往通过焊接拼接在一起的多个冲压件采用整体冲压技术成形的加工方法。整体冲压成形技术不仅可以减少零件和模具数量，降低成本，而且可以提升车身刚度，在碰撞时具有更高的安全性。此外，整体零件也有利于提高车身装配尺寸精度。国内外汽车公司采用整体侧围已经成为一种趋势，但整体冲压成形技术在农业机械生产中几乎还没有应用，这是今后农业机械覆盖件冲压技术的一个发展方向。

4. 少工序化技术的应用

与汽车产品相比，农机产品存在着产量相对较小的特点，通过减少零件工序数量，可以降低成本，提高产品质量，缩短产品开发周期。例如，图 3-38 所示的拖拉机挡泥板右后加强筋，原工序为两道冲压工序：①带法兰 U 形压弯；②V 形压弯成形。通过采用少工序化技术，改为一道冲压工序同时完成两种压弯，减少了多次定位引起的误差累积，提高了工件的制造精度，同时提高了生产效率，所采用的模具结构如图 3-39 所示。

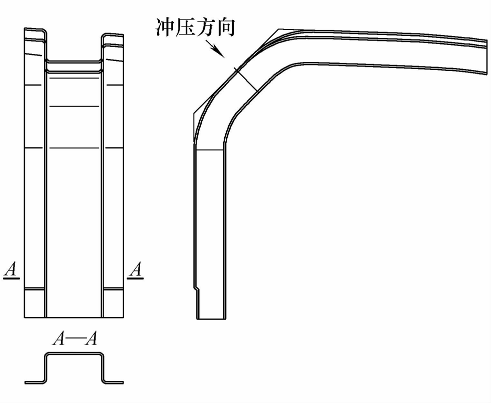


图 3-38　挡泥板右后加强筋

5. 成双冲压技术的应用

对于一些不对称的零件，拉深（或翻边、成形、压弯）时通常受力不均匀，材料流动也不均匀，拉深难度大，质量不好。为解决这些问题，通常采用对称化处理，即成双冲压技术。成双冲压就是将不对称零件合在一起变成对称零件进行拉深（或翻边、成形、压弯）。该技术工艺补充少，材料利用率高，模具数量少，设备利用率高，变形时材料流动均匀程度高，所以生产效率高，生产成本低。但当零件尺寸大到一定程度，产量也很低时，考虑结构、加工、设备及板料采购的原因，以及对称化将使模具大型化和复杂化，这时是否采用对称化还需进行具体的技术经济分析。例如，图 3-40 所示的左、右悬置支架采用的就是左、

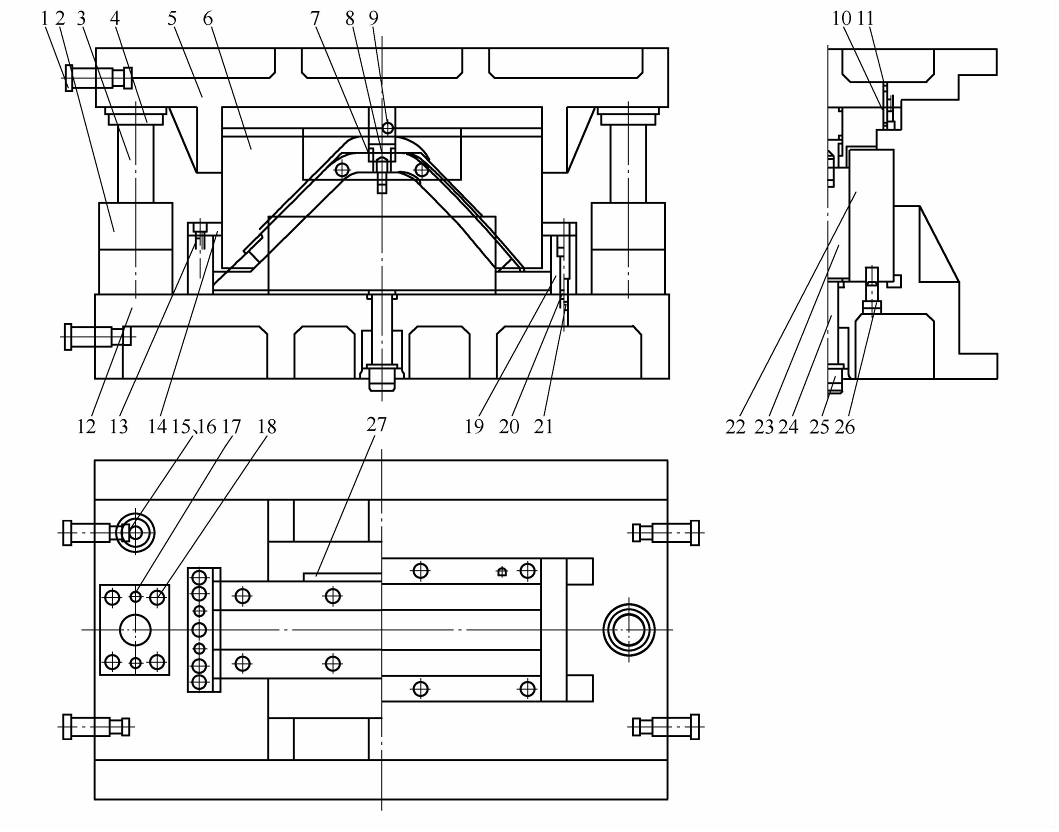


图 3-39　挡泥板右后加强筋一次成形模具结构

1—起重棒　2—导柱座　3—导柱　4—导套　5—上底板　6—凸模　7—定位销　8—顶出销　9—聚氨酯　10、17、21—圆柱销　11、13、18、20、26—螺钉　12—下底板　14—压板　15—工作限位器　16—停放限位器　19—导向板　22—凹模　23—压料板　24—小托杆　25—大托杆　27—定位板

右零件合并落料冲孔，左、右零件合并对称翻边，剖切分离成左、右零件的冲压工艺。

6. 标准化生产日益受到重视

目前，标准化程度低、标准杂乱、标准件跟不上需要已严重制约了覆盖件模具的发展。因此，随着覆盖件模具的进一步发展，标准化程度和标准件生产供应必会受到各有关方面的重视。

7. 工艺设计与工艺管理的一体化设计

农业机械覆盖件工艺设计是产品设计与产品制造间传递和管理信息的桥梁和纽带，是一个有序而又需要多次往复修改的设计过程。至今，工艺设计与工艺管理仍处于脱节状态。传统设计中，它们分属两个部门完成，在计算机辅助技术快速发展的今天，它们还处于分离状态，在工艺设计中，只考虑设计，忽略了工艺设计结果的管理和信息的传递。随着制造业全球化、网络

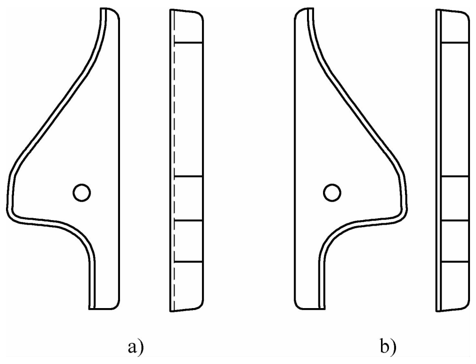


图 3-40　成双冲压零件图

a）左悬置支架　b）右悬置支架

化和虚拟化的发展与应用，实现覆盖件工艺设计与工艺管理的一体化，实现对制造资源的快速配置和关联工艺设计，优化设计制造过程，并对产品制造合作伙伴的工艺设计及管理工作流程进行控制，是时代发展的要求和今后发展的必由之路。

3.5 农业机械覆盖件冲压模具及其发展

3.5.1 农业机械覆盖件冲压模具类型

与零件成形工艺相对应，覆盖件模具主要包括：拉深模、冲孔模、修边模、翻边模、整形模和压合模等几种类型。覆盖件模具质量的好坏很大程度上决定了覆盖件质量的优劣。

3.5.2 农业机械覆盖件冲压模具结构组成及特点

各类农业机械覆盖件模具的零件有很多个，但是从其结构上来讲都可分为两大部分：工作部分和通用部分。工作部分是指按照覆盖件冲压工艺要求，在模具上直接用于实现产品冲压的部分。工作部分与产品和冲压工艺息息相关，对模具设计师来讲很多地方是不能更改的，对这部分结构的设计要求在满足产品和冲压工艺的前提下尽可能地提高模具强度、寿命、设计合理性和良好的操作性。通用部分虽然不直接参与冲压产品，但往往是起到保证冲压精度、冲压连续性、冲压安全性及可操作性的重要作用。通用部分包括：导向、限位、安全、顶件、安装与起重、定位及模具基体铸件等。

由于覆盖件尺寸一般均比较大，因此，覆盖件模具与其他中小型模具相比在结构上具有以下特点：

1）模具尺寸大。由于覆盖件本身尺寸比较大，所以凸、凹模尺寸都比较大，而且覆盖件冲模的制件定位，模具的安装结构，上、下模的导向，模具的起吊、翻转和运输装置等都要求增大模具的尺寸。

2）模具材料质量要求相对低。对于寿命为 40 万次以下的覆盖件拉深模的工作零件（凸模、凹模、压边圈）材料，一般使用强度高一点的铸铁（如 Mo-Cr 铸铁）就可以，故在覆盖件模具中凸模、凹模以及压边圈等零件多采用铸件，既减轻了模具重量，减少了加工量，又可以获得良好的刚性，而一般冲模的工作零件多为工具钢。

3）基础件为框架结构。覆盖件冲模的结构尺寸大，为减轻模具的重量和提高制造工艺性，一般都设计成由两块板状构件构成水平的两层，中间用立筋连接成的框架结构。一般冲模的基础件（模座）多选用标准化的实心板。

4）标准化程度低。一般冲模设计的标准化程度和标准件选用量要比覆盖件冲模大得多。例如，一般的冲孔模可以全部选用标准件装配而成，而覆盖件冲模的基础件大多都是非标准的。

5）在覆盖件模具中，导向零件通常采用导板导向。

在模具加工制造方面，农业机械覆盖件模具制造具有以下特点：

1）覆盖件冲模基础零件和工作零件的毛坯准备是生产准备的重点，它们多为铸件，而且是单件生产。铸型的制造是毛坯准备的关键，一般多用实型铸造（消失型的一种）。

2）由于覆盖件冲压模的轮廓尺寸大，所以加工时需要大型机械加工设备。常用的有：

龙门刨床、龙门铣床、落地镗铣床、龙门数控铣床、多轴数控铣床等。另外，为了调试模具，还需要大型的研合压床和试模压力机。

3）覆盖件冲模制造工艺的重点是工作零件型面的加工。由于覆盖件多是由复杂的三维曲面构成的组合面，所以加工困难，精度不易保证。因此，提高数控加工的精度是提高模具精度和缩短制造周期的关键。

4）覆盖件冲模的装配研合和试压调整是极为重要的制造工序过程，特别是试压调整占整个设计制造工时的比例很大。随着技术进步，机械加工精度的提高，研合和调试周期将逐渐缩短。

5）一个覆盖件一般需要两套以上的冲模，而各套冲模的制造顺序要受到工艺验证的制约。常规的制造顺序是：首先制造拉深模，然后依次是各类成形模、修边冲孔模等。

3.5.3　农业机械覆盖件冲压模具典型结构

下面介绍不同冲压工序中常见的覆盖件模具的典型结构。

1. 拉深模

拉深工序是覆盖件生产中最关键的工序，所以拉深模是覆盖件模具中最重要的模具类型。覆盖件拉深模按结构类型划分，通常可以分为单动拉深模（见图 3-41）和双动拉深模（见图 3-42）两种。单动拉深模与双动拉深模的区别在于：双动拉深模必须安装在双动压力机上（双动压力机有内、外两个滑块，可以提供两个运动），模具的压边圈装在压力机的外滑块上面，凸模装在压力机的内滑块上；当上模下行时首先是外滑块带动压边圈向下运动，压边圈压住板料，然后内滑块带动凸模向下运动，完成拉深。双动拉深模的压边力由压力机的外滑块提供，所以压边力稳定。而单动拉深模的压边力由弹性装置（一般为压力机上的

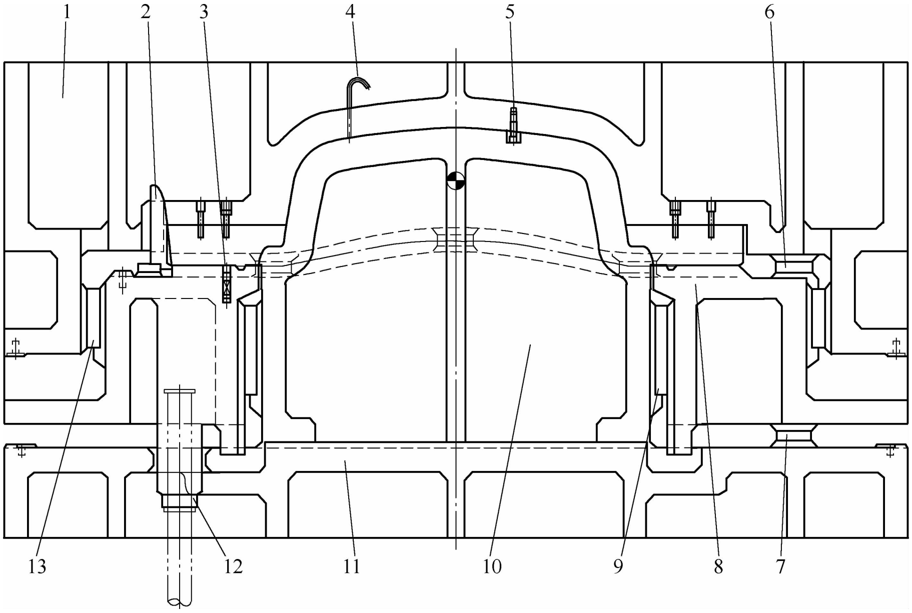


图 3-41　单动拉深模

1—上模座　2—定位板　3—弹顶销　4—排气管　5—CH 孔组件　6—调压垫
7—墩死块　8—压边圈　9—内导板　10—凸模　11—下模座　12—顶杆垫块　13—外导板

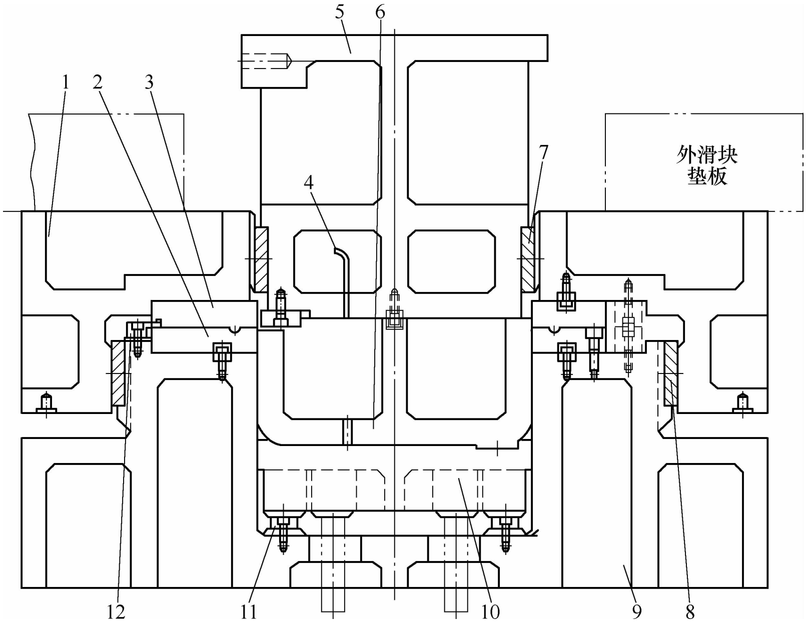


图 3-42　双动拉深模

1—压料板　2—凹模镶块　3—压料板镶块　4—排气管　5—凸模垫板　6—凸模
7—内导板　8—外导板　9—下模座　10—顶出器　11—镦死垫　12—定位板

气垫）提供，因此，双动拉深模的结构比单动拉深模的简单。一般来讲，形状复杂、拉深深度较深、需要压料力较大的覆盖件采用双动拉深模；反之则采用单动拉深模。

拉深模铸件主要由三大件组成：凸模、凹模、压料圈，其余部件全为标准件。考虑模具材料成本、设备加工条件、模具强度等问题，拉深模又可派生出多种结构：凸模可分为整体凸模和分体凸模，凹模也可分为整体凹模和分体凹模等。

2. 修边模

一般所说的修边模包括了修边冲孔模，冲孔合并在修边模中对修边模的结构影响不大，只是增加了冲孔的凸模和凹模，但是提高了生产效率。

根据修边面的形状，修边模可分为平面修边模和曲面修边模。

根据修边凸模（或凹模）的运动方向，修边模可分为以下三类：

（1）垂直修边模　修边凸模（或凹模）的运动方向与压力机方向一致，沿垂直方向做上下运动实现修边，这类模具称为垂直修边模。垂直修边模结构简单，废料处理也比较方便。在考虑拉深件的工序时应首先注意覆盖件翻边展开的修边能尽量地采用垂直修边模。图 3-43所示为机罩上盖板垂直修边模结构简图。在该模具中，当压力机滑块向下运动时，凹模镶块 13 与上模一起向下运动，使凸模镶块 12 的刃口进入凹模镶块刃口，从而完成零件的修边。

（2）斜楔侧向修边模　修边凸模沿侧向做水平或倾斜运动实现修边，这类模具称为侧向修边模。凸模的侧向运动可以通过斜楔机构或通过模具上加装水平方向运动的液压缸来实现，所以也称为斜楔侧向修边模。

由于压力机的上下运动经斜楔传给装有修边镶块的滑块，因此结构较复杂，冲模工作部

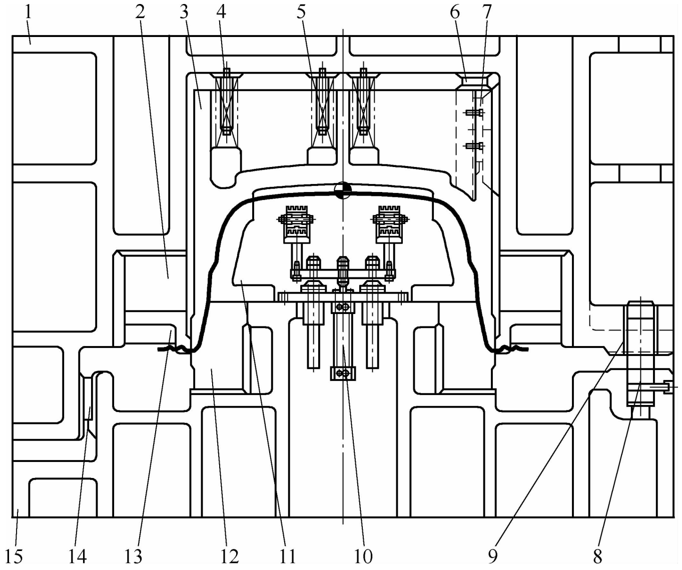


图 3-43　机罩上盖板垂直修边模结构简图

1—上模座　2—上模垫块　3—压料板　4—弹簧导正销　5—弹簧　6—压料板调整垫　7—内导板　8—导柱　9—导套　10—顶件气缸　11—定位板　12—凸模镶块　13—凹模镶块　14—外导板　15—下模座

分占的面积也较大。图 3-44 所示为机罩上盖板斜楔侧向修边模结构简图。在该模具中，当

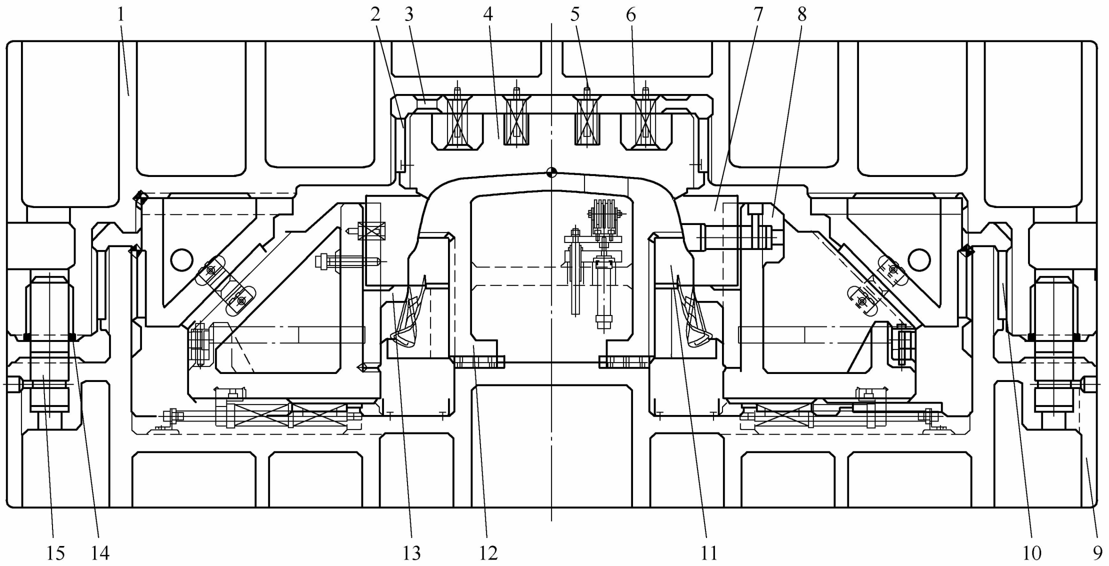


图 3-44　机罩上盖板斜楔侧向修边模结构简图

1—上模座　2—内导板　3—密模块　4—压料板　5—弹簧定位销　6—弹簧　7—侧压料　8—水平斜楔　9—下模座　10—外导板　11—侧切凸模镶块　12—凸模固定板　13—侧切凹模镶块　14—导套　15—导柱

压力机滑块向下运动时，上模下行，上模座 1 的斜面部分推动水平斜楔 8 产生水平方向运动，水平斜楔带动侧切凹模镶块 13 也做水平方向运动，从而使得侧切凸模镶块 11 刃口进入侧切凹模镶块 13 的刃口，在两者共同作用下完成零件的修边。

（3）吊楔侧向修边模　吊楔侧向修边模也是修边凸模沿侧向做水平或倾斜运动实现修边，它与斜楔侧向修边模的区别是：斜楔侧向修边模的修边凹模装在下模上，斜楔装在上模上随上模一起上下运动；而吊楔侧向修边模的修边凹模装在上模上，随上模一起上下运动，斜楔装在下模上。因为吊楔侧向修边模的修边凹模随上模一起运动，所以下模的操作空间开阔，工人上、下料方便，但是模具结构更为复杂，模具造价昂贵。图 3-45 所示为机罩前脸加高件吊楔侧向修边模结构简图。

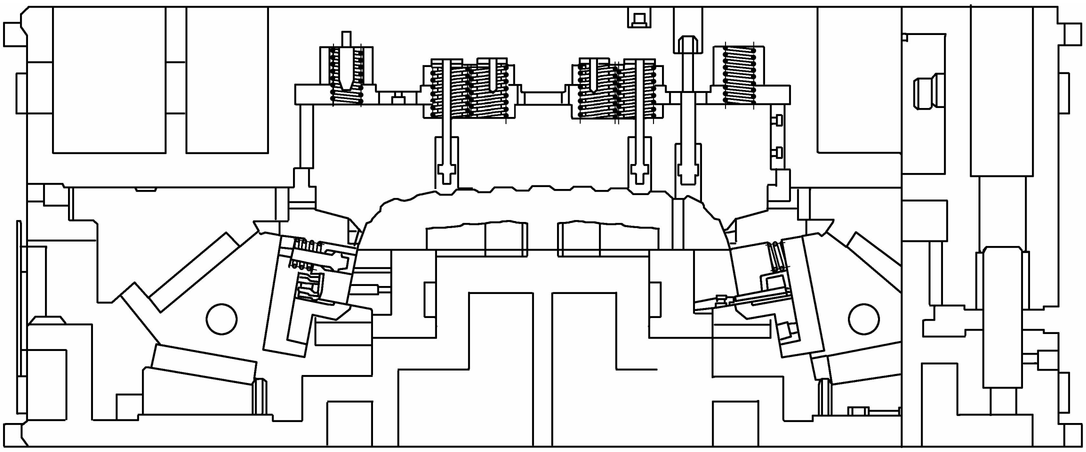


图 3-45　机罩前脸加高件吊楔侧向修边模结构简图

3. 整形翻边模

翻边是覆盖件冲压的重要工序之一。翻边的同时一般都伴有整形，所以又称为整形翻边模。根据翻边镶块的运动方向，翻边模可分为以下五类：

（1）垂直翻边模　翻边镶块与压力机方向一致且作垂直运动，这类模具称为垂直翻边模。这类冲模结构比较简单，制件翻边后包在凸模上，退料时需要与退料器同时退料，否则会造成推料后制件变形。图 3-46 所示为垂直翻边冲孔模具。在此模具中，当压力机滑块向下运动时，上模带动凹模翻边镶块 6 向下运动，当翻边凸模 12 进入凹模翻边镶块后，在凹模翻边镶块和翻边凸模的共同作用下，完成制件的翻边，制件贴靠在翻边凸模上，然后压力机滑块向上运动，打开模具，制件在顶料板 16 的作用下从翻边凸模上取下。

（2）斜楔翻边模　翻边凹模单面向内做水平运动或倾斜运动的翻边模称为斜楔翻边模。由于压力机的上下运动经斜楔传给装有翻边镶块的滑块，因此模具结构较复杂。翻边后制件能够取出，故翻边凸模是一整体。图 3-47 所示为斜楔翻边模。在此模具中，当压力机滑块向下运动时，上模带动自制平动双向斜楔 3 向下运动，自制平动双向斜楔通过斜面部分压迫翻边凹模镶块 12 做水平向右运动，在翻边凹模镶块和翻边凸模镶块 11 的作用下，使制件贴靠在翻边凸模镶块上，从而完成零件的单向翻边。翻边完成后，压力机滑块向上运动，带动上模整体向上运动，制件从翻边凸模镶块上取下。

（3）斜楔开花翻边模　翻边凹模多面向内做水平运动或倾斜运动的翻边模称为斜楔开

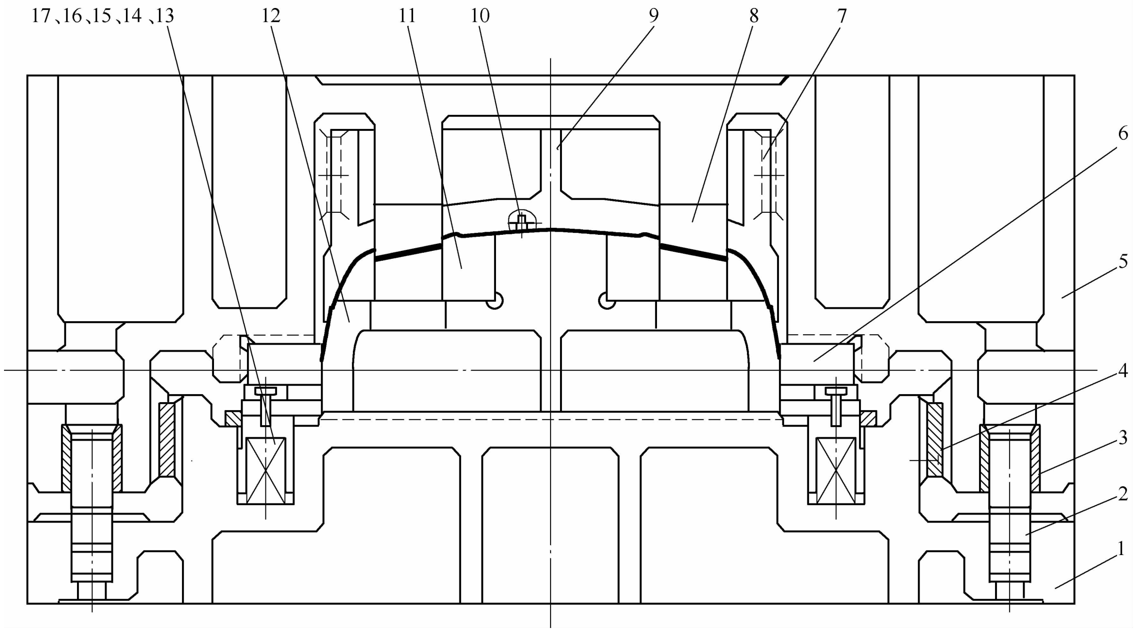


图 3-46　垂直翻边冲孔模具

1—下模座　2—导柱　3—导套　4—外导板　5—上模座　6—凹模翻边镶块　7—内导板　8—冲孔凸模　9—压料板　10—定位销　11—冲孔凹模　12—翻边凸模　13—弹簧定位销　14—导向套　15—弹簧　16—顶料板　17—限位块

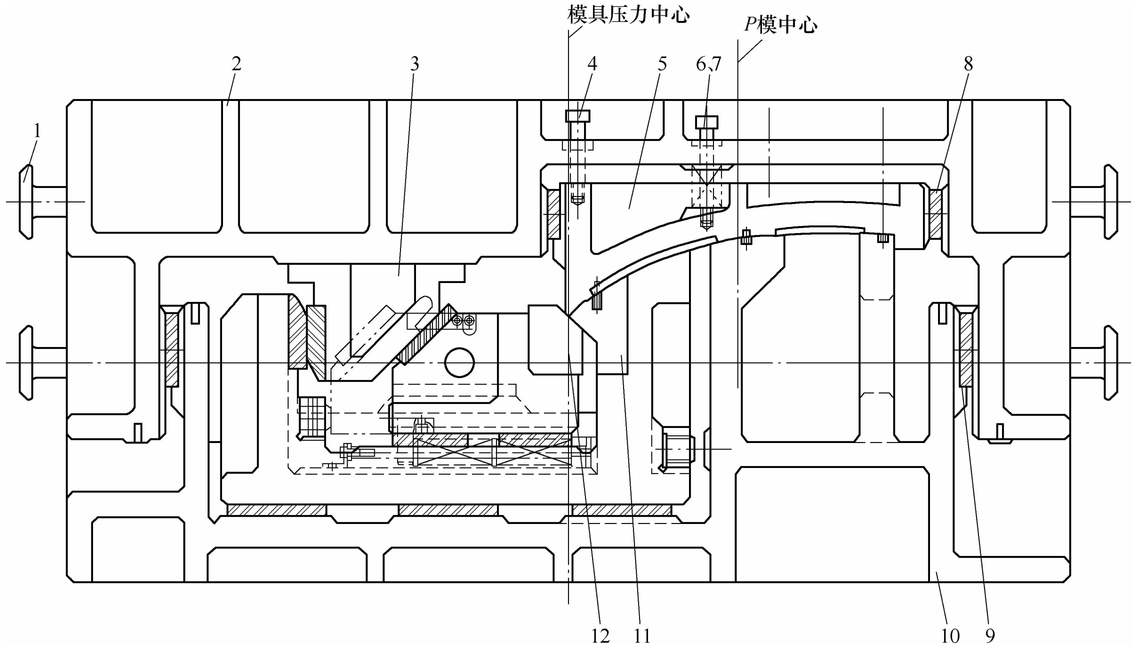


图 3-47　斜楔翻边模

1—起重棒　2—上模座　3—自制平动双向斜楔　4—安全螺钉　5—压料板　6—卸料螺钉　7—中载弹簧　8—内导板　9—外导板　10—下模座　11—翻边凸模镶块　12—翻边凹模镶块

花翻边模。翻边后制件包在翻边凸模上，无法取出，因此必须将翻边凸模做成活动的，扩张成翻边状，这类冲模结构比较复杂。图 3-48 所示为斜楔开花翻边模。在此模具中，当压力机滑块向下运动时，上模座 2 的斜面部分压迫导板双向斜楔 18 产生水平运动，从而推动下模镶块 17 与翻边凸模 11 产生相对运动，在二者的共同作用下完成制件的翻边。翻边后制件包在翻边凸模上，当压力机回程时，模具打开，翻边凸模（活动结构）在弹簧的作用下向内运动，制件从凸模上取下。

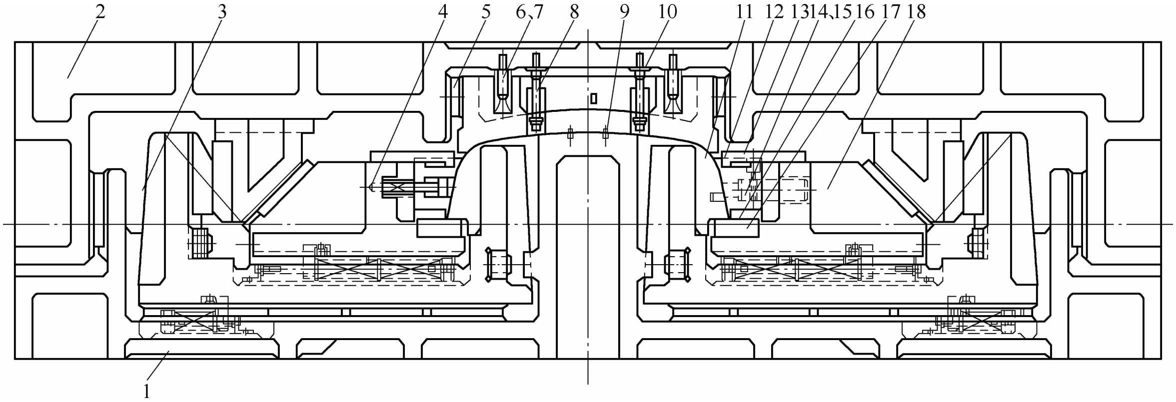


图 3-48　斜楔开花翻边模

1—下模座　2—上模座　3—外导板　4—侧压料螺钉　5—内导板　6—弹簧定位销　7—弹簧　8—安全螺钉　9—定位销　10—工作螺钉　11—翻边凸模　12、16—侧压料　13—带钩导板　14—小导柱　15—小导套　17—下模镶块　18—导板双向斜楔

（4）斜楔向外翻边模　翻边凹模对称两面向外作水平运动或倾斜运动的翻边模称为斜楔向外翻边模。翻边后制件能够取出。

（5）内外全开花翻边模　覆盖件窗口的封闭向外翻边的翻边模称为内外全开花翻边模。翻边后制件包在翻边凸模上无法取出，必须将翻边凸模做成活动的，缩小成翻边形状。这类冲模结构很复杂。

4. 斜楔模

一般的冲压加工为垂直方向，即压力机的滑块带动上模作垂直运动，完成冲压加工动作。而当制件加工方向必须水平或倾斜时，则应采用斜楔机构将压力机的垂直运动变为模具零件的水平或倾斜运动，这种采用斜楔机构的模具即为斜楔模。在农业机械覆盖件冲压工艺中，斜楔模常用于修边、翻边、切口、冲孔等工序，如前面所讲的斜楔侧向修边模、吊楔侧向修边模以及斜楔翻边模都属于斜楔模。根据加工零件的方向不同需采用不同形式的斜楔机构，斜楔模一般所用的斜楔机构如图 3-49～图 3-53 所示。

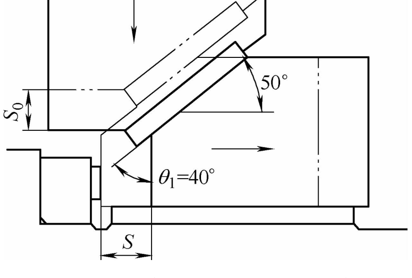


图 3-49　单动斜楔（水平动作）

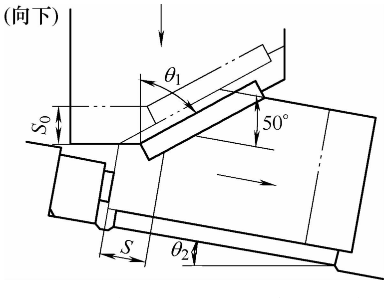


图 3-50　单动斜楔（向下倾斜动作）

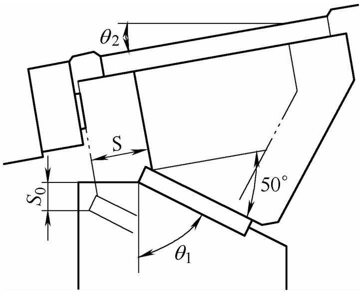


图 3-51 单动斜楔（向上倾斜动作）

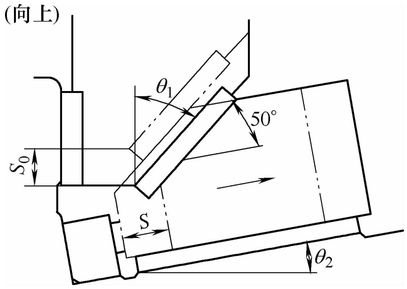


图 3-52 吊装斜楔

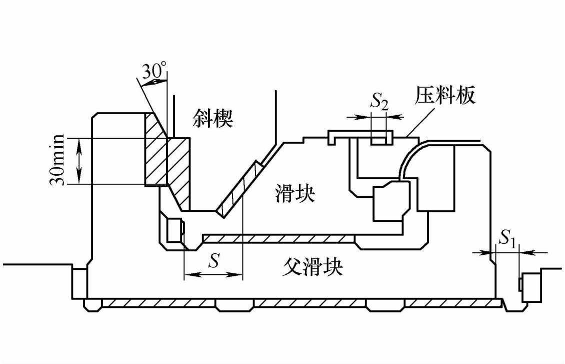


图 3-53 双动斜楔

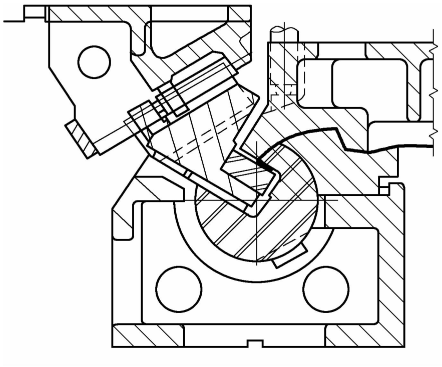


图 3-54 旋转凸轮

（1）水平动作斜楔　水平动作斜楔的结构相对简单，但有时不利于制件的送入和取出，甚至不能送入和取出。

（2）倾斜动作斜楔　倾斜动作斜楔的加工方向不是水平的，与水平侧冲相比，制件流向为前后方向，操作性差，并且结构复杂。

（3）吊装斜楔　吊装斜楔的加工方向倾斜角度大，倾斜侧冲不能使用时可使用吊装斜楔，其行程短且取、放件操作性较好。图 3-45 所示的模具使用的就是吊装斜楔。

在斜楔机构中有时还要用到旋转凸轮，它主要用于负角成形时，通过凸轮的旋转，达到消除取件困难的目的，如图 3-54 所示。

3.5.4 农业机械常用的模具材料

1. 冷作模具钢

冷作模具钢一般侧重硬度和耐磨性。其含碳量高，加入合金元素，以增加淬透性，提高耐磨性。在冲压模具中常用的冷作模具钢有 Cr12、Cr12MoV、Cr12Mo1V1 等材料，常用于冲裁、修边模具中的刃口，还可以在拉深模中用作拉深凹模和压边圈镶块。其中冲裁、修边模具刃口使用最多的是 Cr12MoV。常用的冷作模具钢性能见表 3-6。

2. 常用铸铁材料

覆盖件模具由于尺寸大，所以上下底板、工作部分以及压料板都是采用铸件，既减轻了模具质量，减少加工量，又可以获得良好的刚性，因此铸铁材料是覆盖件模具材料中重要的一种。常用的铸铁牌号及性能见表 3-7。

表 3-6　常用的冷作模具钢性能

铸钢种类	低合金冷作模具钢	中合金冷作模具钢	高合金冷作合金钢	
材料标号	CH1(7CrSiMnMoV)	Cr5Mo1V	Cr12MoV	Cr12Mo1V1
等价牌号	GO5 HMD5 HMD1 FH5 SX105V	DIN:1.2363 (X100CrVMo5-1) JIS:SKD12 ASTM:A2	DIN:1.2601 (X165CrMoV12-1) JIS:SKD11	DIN:1.2379 (X155CrVMo12-1) JIS:SKD11 ASTM:D2
供货状态	铸造或锻造 退火	退火	锻造 退火	退火
加工性能	好	中等	差	差
淬火性能	好	很好	很好	很好
热变形	低	低	低	低
抗磨损性能	好	很好	很好	很好
韧性	好	中等	差	差
焊接性能	很好	差	很差	很差
价格系数	1	1.25	1.3	1.6

表 3-7　常用的铸铁牌号及性能

铸铁种类	灰铸铁	球墨铸铁	球墨铸铁	合金球墨铸铁	MoCr 铸铁	合金球墨铸铁
材料标号	GG-25	GGG-50	GGG-60	GGG-70L	GG25 MoCr	TGC600
等价牌号	HT250(HT230)/ FC250/GM238	QT500-7 /FCD500	QT600-3 /FCD600	KSCD800I /GM338	GM241	—
供货状态	铸态	退火	正火	正火	时效处理	退火
硬度(HBW)	160～210	170～230	190～270	220～270	190～240	200～250
抗拉强度/(N/mm^2)	min:250	min:500	min:600	700～1000	360～470	min:600
抗磨损性能	差	中等	中等	好	中等	好
韧性	差	中等	好	好	中等	好
加工性能	最好	好	好	较好	好	较好
淬火性能	—	好	好	好	好	好
焊接性能	差	好	好	好	中等	好
价格系数	1	1.3	1.5	2	1.6	1.7

3. 空冷钢

空冷钢是一种以铸代锻的高碳低合金钢，适用于冲压 1.2mm 以下的钢板材，广泛应用于汽车、拖拉机覆盖件冲压模具，使用寿命达几万次。空冷钢具有耐磨性高、热处理时变形小、价格便宜等优点。由于热处理变形小，空冷钢制造的模具零件通常可以采用先机加工，然后热处理，且热处理后可以不再机加工。使用空冷钢做覆盖件模具有以下优点：

1）节省热处理设备、电力费用、运输周转。

2）简化了机械加工工艺，特别是节省了数控仿形铣床的高费用加工工时，缩短了制模时间。

3）由于改为铸造坯，可节省大量优质钢材。

4）便于维修和重复空冷淬火处理，空冷易操作。

5）缩短模具制造周期，降低制造费用，提高制造质量。

4. 农业机械与汽车模具在材料方面的差距

由于农业机械在生产批量上不如汽车批量大，加上精度、外观在要求上都低于汽车，所

以在模具材料的选用上，农业机械模具材料与汽车模具材料存在一定的差距，尤其是新材料的应用方面。

3.5.5 农业机械模具设计与制造的现状

1. 专业软件开发和应用

早在20世纪60年代初，国外的一些汽车公司就在汽车车身设计的基础上，开始了模具CAD的研究，从而发展了复杂曲面的设计方法。20世纪70年代，美国Ford公司开发的CAD/CAM系统简化了人工设计与制造，日本Toyota汽车公司从1980年开始研制汽车覆盖件模具CAD/CAM系统，此系统包括处理覆盖件模面的Die-face软件和加工凸、凹模的TINCA软件等，由三坐标测量机将实物模型测量后所获得的数据送入计算机，经处理后再把这些数据用于汽车覆盖件设计、模具设计和制造，并且该系统已经具有较强的三维图形功能，能在屏幕上反复修改曲面形状。1986年，欧共体五国联合开发了冲压成形过程的CAE软件，前后花费六年的时间。1992年，正式推出PAM-STAMP商品化软件。

改革开放以来，我国汽车工业得到了很大的发展，但与发达国家相比仍有很大差距。1994年3月，国务院颁布了我国的《汽车工业产业政策》，要求在2010年，使我国的汽车特别是轿车工业具有车型及模具的自我设计和开发能力，真正建立起自主发展的中国汽车工业。与此同时，一些具有自主版权的软件也陆续推出，如上海交大国家模具CAD工程研究中心开发的冷冲模CAD系统、北京航空航天大学华正模具研究所开发的CAD/CAE系统CAXA以及武汉华中理工大学模具技术国家重点实验室开发的塑料注射模CAD/CAE/CAM系统HS2.0等。在“九五”期间开发具有国际先进水平的CAE软件，并与现有的CAD/CAM软件集成，实现CAD/CAE/CAM一体化一直是国家科技攻关的一个重点。在此基础上，吉林工大开发出板料冲压成形分析的CAE软件系统KMAS，湖南大学研究开发出汽车覆盖件成形工艺与模具CAD/CAE/CAM一体化技术。此外，把人工神经网络的模式识别模型引入工艺专家系统，建设智能化的汽车覆盖件冲压工艺专家系统（CAPP）也取得了相当大的进展。

目前，在覆盖件冲压加工方面的CAD/CAE/CAM软件开发和应用方面，我国虽然有了一定的发展，也取得了一些成绩，但与国际先进的国家相比，还存在很大差距。

2. 铸件制造

传统的覆盖件模具中的铸件多采用木质模样、粘土砂干型铸造工艺，不仅需要耗用大量的木材和工时，而且铸件的尺寸精度差、毛刺多、粗糙笨重。目前覆盖件模具中的铸件多采用实型铸造方法。实型铸造模样是采用密度为0.015～0.025g/cm^{3}的聚苯乙烯泡沫塑料板材加工粘结而成，铸型为树脂砂型，浇注高温合金液后，模样气化消失，最终获得铸件，所以实型铸造方法也称为消失模铸造法。其突出的优点是用实样获得铸件，铸件的精度主要取决于模样的精度，铸件上的螺纹槽、孔等可直接铸出，是一种近无余量的精确成形新工艺，该工艺节省材料，清理和机加工工作量减少，生产效率相应提高，已成为覆盖件冲模毛坯生产的主要方法。

3. 机加工能力

制造技术数字化时代已经到来，多种数字化加工技术已十分成熟，数控铣床、加工中

心、慢走丝线切割机、精密坐标镗床等高精设备的已广泛应用于农业机械覆盖件模具的加工，确保了加工精度和加工质量，加快了制造周期。主要有以下几个方面：

1）高速切削加工设备、技术开始应用。

2）更多的利用加工中心实现无看护加工，大幅度提高效率，降低人工成本。

3）实现模具制造的专业化生产及社会化协作，并充分利用网络技术，实现了以异地设计、制造为代表的网络化制造。

4）精密、复杂、高效、长寿命的多功能模具和高精密多工位级进模从小型向大中型发展趋势明显。

4. 模具项目控制能力

项目管理的核心内容主要包括：进度控制、质量控制和成本控制三个方面。而覆盖件模具开发是一项大的系统工程，模具开发涉及几百个零件，上千套模具，大多都是由 3 ~ 5 家工厂同时开发的。针对某一个工厂而言，从企业运营角度都是同时承担几个以上的模具项目，而且这些项目都是针对不同的客户交叉进行的，它们具有以下几个特点：①工期短；②质量要求高。特别是企业，它往往同时承担几个甚至十几个项目，所以项目管理控制能力将会对成本、周期、质量等方面同时满足企业和客户的利益产生重要影响，是衡量一个企业管理水平的重要指标。目前，在覆盖件模具项目管理中虽然实施了并行工程、CAPP 系统、PDM（产品数据管理）系统等技术，但整体管理水平低下，行业内部缺乏交流沟通。目前国内农机、工程机械整机生产发展很快，但模具行业企业结构和行业加工能力布局不尽合理，企业间缺乏完善的协作配套机制。各模具设计制造企业间缺乏交流和沟通，往往对独占信息的发掘很注重，却忽视共享资源的综合利用。这可能对企业短期发展有利，但却不利于全行业的整体发展壮大。

3.5.6　农业机械覆盖件成形模具的发展趋势

1. 快速成形模具将会在占有较大比例

农机产品及工程机械产品与汽车相比批量较小，这就要求设法降低模具成本提高市场竞争力。因此，快速成形模具将会在农业机械、工程机械产品中占有较大比例。

2. 单动拉深模使用更为普遍

随着压力机设备性能的提高，覆盖件生产中更多地采用单动拉深模。原因有两点：①在于双动拉深模所用的双动压力机只能用于拉深工序，而单动拉深模所用的压力机不仅可以用于拉深成形工序，还可以用于其他工序，应用范围更广，也使得设备加工的灵活性更大。②在冲压生产线中可以避免零件多次翻转。

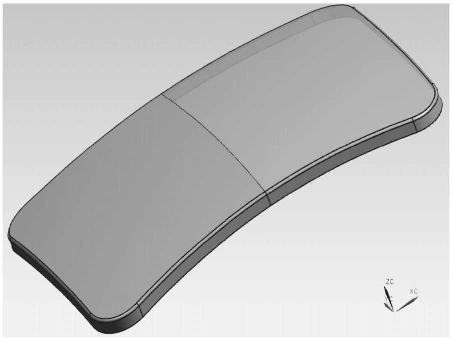
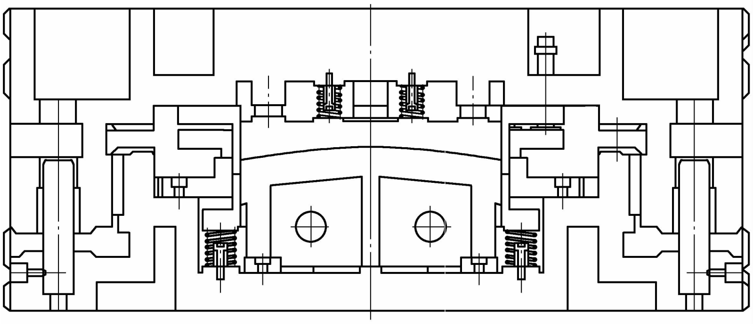


图 3-55　机罩上网眼板

3. 模具结构趋于复杂

为了减少覆盖件的成形工序次数，提高生产效率，缩短供货周期，从而使得模具的结构趋于更加复杂。如图 3-55 所示的零件为机罩上网眼板，该零件的基本工序有拉深、切边、翻边，这三种工序可采用一套模具来完成，模具结构如图 3-56 所示。


a)

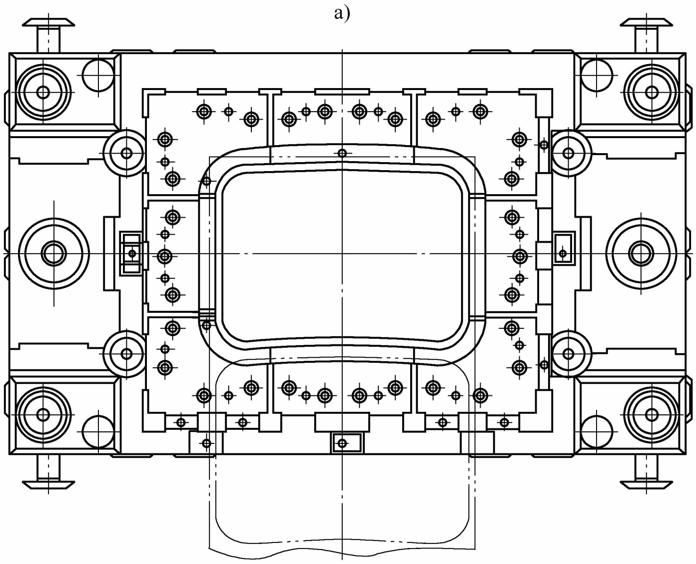

b)

图 3-56　机罩上网眼板的模具结构
a）主视图　b）俯视图

3.6　农业机械覆盖件成形设备及其发展

3.6.1　农业机械覆盖件冲压设备类型及特点

由于覆盖件尺寸大多比较大，所以覆盖件成形设备具有大吨位、大台面、大行程、大吨位拉深垫、移动工作台、高速度、高精度、高效率等特点。

生产常用的设备有机械压力机和液压机两大类。

1. 机械压力机

（1）机械压力机的主要组成　常用的机械压力机主要是曲柄压力机，它是材料成形（塑性成形）中广泛应用的设备，通过曲柄连杆机构获得材料成形时所需的力和直线位移，可进行冲压、挤压、锻造等工艺，广泛应用于汽车工业、农业机械、航空工业、电子仪表工业、五金轻工等领域。

根据压力机各部分零件的功能，可分为如下几个组成部分：

1）工作机构。设备的工作执行机构由曲柄、连杆、滑块组成，将旋转运动转换成往复

直线运动。由于工作机构是一刚性曲柄连杆机构，故压力机工作时有固定的上、下极限位置（上、下死点），可以精确控制成形件的尺寸。

2）传动系统。传动系统由带传动和齿轮传动组成，将电动机能量传输至工作机构，在传输过程中，转速逐渐降低，转矩逐渐增加。

3）操作机构。操作机构主要由离合器、制动器以及相应电气系统组成，在电动机起动后，控制工作机构的运行状态，使其能间歇或连续工作。

4）能源部分。能源部分由电动机和飞轮组成，机器运行的能源由电动机提供，开机后电动机对飞轮进行加速，压力机短时工作能量则由飞轮提供，飞轮起着储存和释放能量的作用。

5）支承部分。支承部分由机身、工作台和紧固件等组成。它把压力机所有零部件连成一个整体。

6）辅助系统。辅助系统包括气路系统、润滑系统、过载保护装置、气垫、快换模、打料装置、监控装置等。它可提高压力机的安全性和操作方便性。对新型压力机，此系统成本所占比例有提升趋势。

（2）曲柄压力机的分类　目前曲柄压力机主要依据床身结构来进行分类，分为开式和闭式曲柄压力机。闭式曲柄压力机根据曲柄的数量又可分为闭式单点压力机（见图 3-57）、闭式双点压力机和闭式四点压力机（见图 3-58）等。开式曲柄压力机的床身呈“C”形，机身的前面和左、右面敞开，便于模具安装调整和成形操作，但机身刚度（特别是角刚度）较差，受力变形后影响制件精度和降低模具寿命，适用于小型压力机，常用在 1000kN 以下。闭式曲柄压力机机身为框架结构，机身前后敞开，两侧封闭，在前、后两面进行模具安装和成形操作，机身受力变形后产生的垂直变形可以用模具闭合高度调节量消除。对制件精度和模具运行精度不产生影响，适用于中大型曲柄压力机。

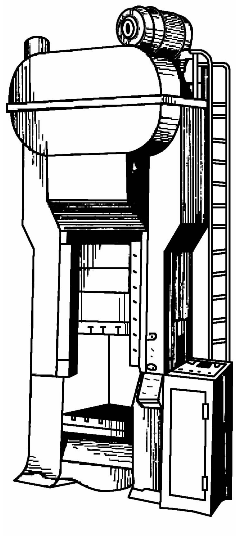


图 3-57　闭式单点压力机

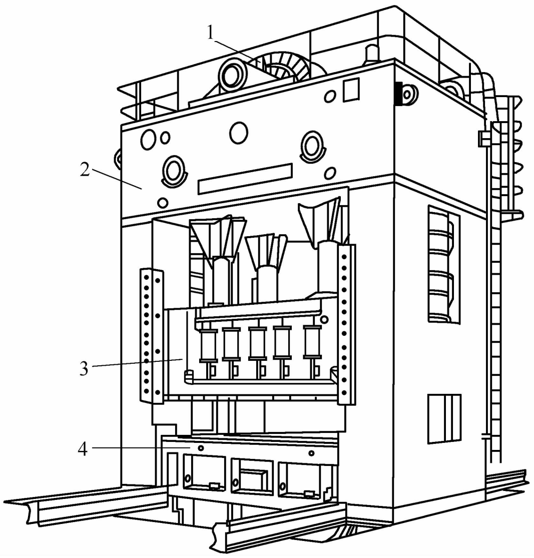


图 3-58　闭式四点压力机

1—传动系统　2—机身　3—滑块　4—工作台

除以上分类方法外，还有一些其他分类方式：

按工艺用途分类可分为通用曲柄压力机、拉深压力机、板冲高速压力机、热模锻压力机、冷挤压力机等。这些压力机对曲柄滑块机构作了改进，使其力能和运动曲线更符合相应的成形工艺要求。

按滑块数量分类可分为单动曲柄压力机、双动曲柄压力机。单动是指在工作机构中有一个滑块，双动是指在工作机构中有两个滑块，分内、外滑块，内滑块安装在外滑块内，各自机构分别驱动。

双动曲柄压力机也称为拉深压力机（见图 3-59）。对复杂形状的大型薄板成形件，特别是覆盖件，宜在专用的拉深压力机上进行。所以，拉深压力机是农业覆盖件加工中重要的设备。一般拉深压力机有两个滑块，外滑块用于压边，内滑块用于拉深成形。

图 3-59　拉深压力机

双动拉深压力机外滑块内套有一个内滑块，实现双动。双动拉深压力机内滑块与外滑块的运动须保持一定的关系，以满足拉深工艺要求，内、外滑块的运动关系用工作循环图表示。图 3-60 是 JB46-315 双动拉深压力机的滑块工作循环图。内滑块运动规律与通用曲柄压力机滑块运动规律相似。外滑块为多机构驱动，做近似的间歇运动。工作时外滑块比内滑块提前 10°～15°压住坯料，内滑块大约在 $\alpha \leq 82°$时开始拉深，到 $\alpha = 0°$时拉深结束。回程时外滑块比内滑块滞后 10°～15°，其目的是为了使工件不至卡在凸模上，这样外滑块的压紧角取 100°～110°，当内滑块回到上死点时，外滑块已经超过上死点而向下走了一段距离，这段距离称为导前行程量，约等于滑块行程的 0.1～0.15，“导前”能保证滑块在下次工作行程时提前压住毛坯，“导前”量也不能太大，要保证能从凹模中取出工件。双动拉深压力机也装有气垫，可在拉深结束后顶出工件，由于外滑块在回程时比内滑块滞后 10°～15°，为了避免在这 10°～15°范围内气垫将工件顶坏，气垫应安装有回程滞后装置，使它与外滑块同步上升。

双动拉深压力机具有如下工艺特点：

1）稳定可靠的压边力。对复杂拉深件，通常在模具上设置不同的拉深筋来调整和控制金属流动阻力。双动拉深压力机由于其外滑块有足够的压力使拉深筋处的金属完全变形，从而充分发挥拉深筋的工艺作用。

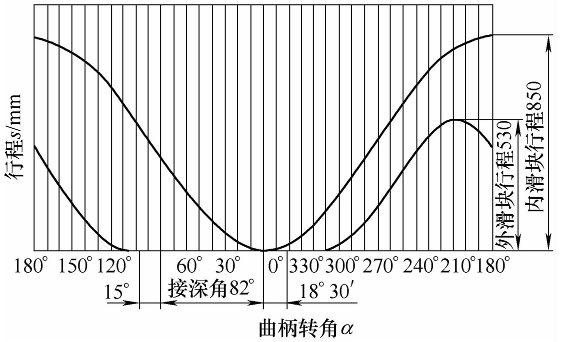


图 3-60　JB46-315 双动拉深压力机的滑块工作循环图

2）运行平稳无冲击。双动拉深压力机的外滑块在开始压边时已处于下死点位置，因此与工件接触时冲击力很小。若用弹性元件或气垫，则在压边圈接触工件时滑块有一定的速度，压边开始时冲击较大，引起压边圈的振动和压边力瞬时增大，使压边圈与坯料间的润滑剂被挤出，提高了拉深摩擦力，增加了拉深件破裂的可能性。

3）易于机械化操作。采用双动拉深压力机时，拉深模是正装的，即拉深凹模在下，

凸模在上，制件向下拉深，毛坯周边在高度上可保持不变，便于使用机械手实现自动化操作。

4）合适的拉深速度。由于是专用压力机，其内滑块拉深的速度更符合拉深工艺要求。

2. 液压机

（1）液压机的工作原理　液压机是根据帕斯卡原理制成的，它利用液体压力能来驱动机器工作。液压机的工作原理如图 3-61 所示。两个充满液体的大小不一的容器（面积分别为 A_1 和 A_2）连通，并加以密封，使两容器液体不会外泄。当对小柱塞施加向下的作用力 F_1 时，则作用在液体上的单位压力为 $p=F_1/A_1$，根据帕斯卡原理：在密闭的容器中，液体压力在各个方向上是相等的，且压力将传递到容器的每一点。因此，另一容器的大柱塞产生向上推力 F_2，$F_2=pA_2=F_2(A_2/A_1)$。由此可见，只要增大大柱塞的面积，就可以由小柱塞上一个较小的力 F_1，在大柱塞上获得一个很大的力 F_2。这里的小柱塞相当于液压泵中的柱塞，而大柱塞就是液压机中工作缸的柱塞。

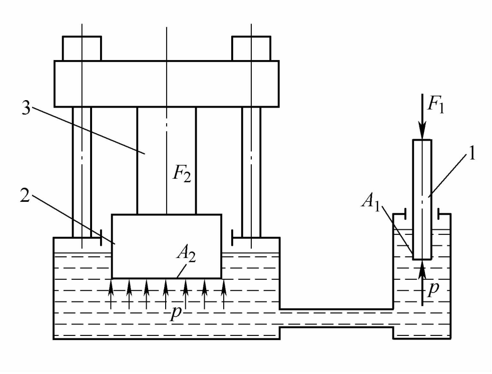


图 3-61　液压机工作原理
1—小柱塞　2—大柱塞　3—制件

（2）液压机的特点及分类

1）液压机的特点。液压机是静压作用的机器，以液体静压力使工件变形，这是与其他锻压设备（如曲柄压力机、锻锤压力机、螺旋压力机）的基本不同点，除此之外液压机还具有以下特点：

① 容易获得大的压力。设备吨位越大，液压机的此优点越突出，而靠机械机构传递能量的压力机，压力的增大受到构件强度限制。

② 工作压力可以调整。有的液压机在一个工作循环中可以用几级工作压力超载，使模具受到保护。

③ 容易获得大的工作行程。液压机容易获得大的工作行程，并在工作行程的任意位置上都可产生额定最大压力和长时间持续保压。这对长工作行程的压制工艺特别有利。如板料的深拉深、型材的挤压等。

④ 调运方便。可调节液压系统实现各种行程速度，这种调速是无级的，操作方便。

⑤ 液压机结构简单，能够适应多品种生产。

⑥ 工作振动及噪声小。液压机工作平稳，撞击、振动和噪声都较小。对厂房基础要求低。对环境保护及改善工人劳动条件有利。

⑦ 易于实现自动化生产。

但是，液压机也有一些缺点。如对密封技术要求较高，密封差产生液体渗漏会影响机器的效能，污染环境。由于液体的流动阻力，液压机的最高工作速度受到限制。

2）液压机的分类。液压机按用途分为 10 个组别：

① 锻造液压机：用于自由锻造、钢锭开坯、有色金属与黑色金属模锻。

② 冲压液压机：用于各种板料冲压，其中有单动、双动及橡皮模冲压等。

③ 一级用途液压机：用于各种工艺，通常称为万能或通用液压机。

④ 校正、压装用液压机：用于零件校形及装配。

⑤ 层压液压机：用于胶合板、刨花板、玻璃纤维增强材料等的压制。

⑥ 挤压液压机：用于挤压各种金属线材、管材、棒材、型材及工件的拉深、穿孔等工艺。

⑦ 压制液压机：用于压制各种粉末制品。如粉末冶金、人造金刚石、热固性塑料及橡胶制品的压制等。

⑧ 打包、压块液压机：用于将金属切屑及废料压块与打包、非金属材料的打包等。

⑨ 其他液压机：如模具研配、电缆包覆、轮轴压装等各种专用工序的液压机。

⑩ 手动液压机：为小型液压机，用于试压、压装等要求力量不大的手工工序。

液压机的工作介质主要有两种：采用乳化水液作为工作介质的称为水压机，其公称压力一般在 10000kN 以上。用油作为工作介质的称为油压机，其公称压力一般小于 10000kN。

3.6.2 农业机械覆盖件冲压设备规格

闭式双点压力机、双动拉深压力机和液压机基本参数分别见表 3-8、表 3-9、表 3-10。

表 3-8 闭式双点压力机基本参数

公称压力/kN	公称压力行程/mm	滑块行程/mm	滑块行程次数/(次/min)	最大装模高度/mm	装模高度调节量/mm	导轨间距离①/mm	滑块底面前后尺寸/mm	工作台板尺寸/mm	
								左右①	前后
1600	13	400	18	600	250	1980	1020	1900	1120
2000	13	400	18	600	250	2430	1150	2359	1250
2500	13	400	18	700	315	2430	1150	2350	1250
3150	13	500	14	700	315	2880	1400	2800	1500
4000	13	500	14	800	400	2880	1400	2800	1500
5000	13	500	12	800	400	3230	1500	3150	1600
6300	13	500	12	950	500	3230	1500	3150	1600
8000	13	630	10	1250	600	3230/4080	1700	3150/4000	1800
10000	13	500	10	1250	600	3230/4080	1700	3150/4000	1800
12500	13	500	10	950	400	3230/4080	1700	3150/4000	1800
16000	13	500	10	950	400	5080/6080	1700	5000/4000	1800
20000	13	500	8	950	400	5080/7580	1700	5000/7500	1800
25000	13	500	8	950	400	7580	1700	7500	1800
31500	13	500	8	950	400	7580/10080	1900	7500/10000	2000
40000	13	500	8	950	400	10080	1900	10000	2000

①分母数为大规格尺寸。

表 3-9　双动拉深压力机基本参数

参数 \ 型号		JA45-100	JA45-200	J 45-315	JB46-315
公称压力/kN	外滑块	1000	2000	3150	3150
	内滑块	630	1250	3150	3150
滑块行程/mm	外滑块	420	670	850	850
	内滑块	260	425	530	530
滑块行程次数/(次/min)		15	8	5.5 ~ 9	10,低速 1
内滑块装模高度调节量/mm		100	165	300	500
最大装模高度/mm	外滑块	580	770	900	1300
	内滑块	530	665	850	1000
立柱间距离/mm		950	1620	1930	3150
工作台板尺寸 $\frac{\text{前后}}{\text{mm}}\times\frac{\text{左右}}{\text{mm}}\times\frac{\text{厚}}{\text{mm}}$		900 × 930 × 100	1400 × 1540	1800 × 1600	1900 × 3150
滑块底平面尺寸 $\frac{\text{前后}}{\text{mm}}\times\frac{\text{左右}}{\text{mm}}$	外滑块	560 × 560	900 × 960	1000 × 1000	1300 × 2500
	内滑块	850 × 850	1350 × 1420	1550 × 1600	1900 × 3150
气垫顶出力/kN		100(10)	80(8)	120(12)	500(50)
气垫行程/mm		210	315	400	440
主电动机功率/kW		22	30	75	100

表 3-10　液压机基本参数

型号	基本参数						
	公称压力/kN	滑块行程/mm	顶出力/kN	工作台尺寸 $\frac{\text{前后}}{\text{mm}}\times\frac{\text{左右}}{\text{mm}}\times\frac{\text{距地面高}}{\text{mm}}$	工作行程速度/(mm/s)	活动横梁至工作台最大距离/mm	液体工作压力/MPa
Y32-50	500	400	75	490 × 520 × 800	16	600	20
YB32-63	630	400	95	490 × 520 × 800	6	600	25
Y32-100A	1000	600	165	600 × 600 × 700	20	850	21
Y32-200	2000	700	300	760 × 710 × 900	6	1100	20
Y32-300	3000	800	300	1140 × 1210 × 700	4.3	1240	20
YA32-315	3150	800	630	1160 × 1260	8	1250	25
Y32-500	5000	900	1000	1400 × 1400	10	1500	25
Y32-2000	20000	1200	1000	2400 × 2000	5	800 ~ 2000	26

3.6.3　农业机械冲压生产线类型

为了实现农机覆盖件冲压生产工序的连续加工，将两台以上压力机成线状串联布置，称为冲压生产线。根据自动化程度，冲压生产线可分为人工冲压生产线和自动冲压生产线两类。由于农机生产批量没有汽车批量大，所以农机覆盖件的冲压生产线多为人工冲压生产线。

覆盖件冲压生产线的设备基础为带状纵向贯通式，压力机呈纵向串联布置，便于流水生产。如图 3-62 和图 3-63 所示，由四台大型压力机组成的拖拉机覆盖件冲压生产线。

1. 机械压力机冲压生产线

机械压力冲压生产线的设备组成和分布如图 3-62 所示。该生产线第一台设备为双动机械压力机，用于零件的拉深成形；后面三台为单动机械压力机，用于零件冲孔、切边、翻

边、整形等工序。如果零件的工序较多，则可以倒过来再重复使用。该生产线主要用于大型大批量冲压件的生产。其中 E4D800 + 500-MB 的外滑块压力为 8000kN，内滑块压力为 5000kN，E4S1000-MB 的公称压力为 10000kN，J39-800 的公称压力为 8000kN。

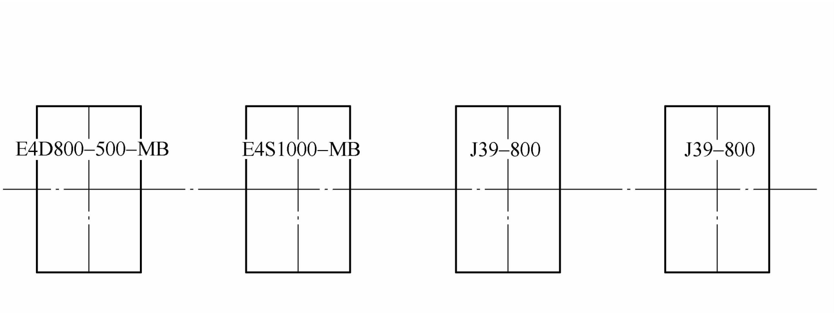


图 3-62　机械压力机冲压生产线

2. 液压机冲压生产线

液压机冲压生产线的设备组成和分布如图 3-63 所示。该生产线设备均为单动液压机，主要用于大型、中小批量冲压件的生产。RZU800HB 的公称压力为 8000kN，RZU500HB 的公称压力为 5000kN。第一台 RZU800HB 设备用于零件的拉深成形，后面三台设备用于零件冲孔、切边、翻边、整形等工序。

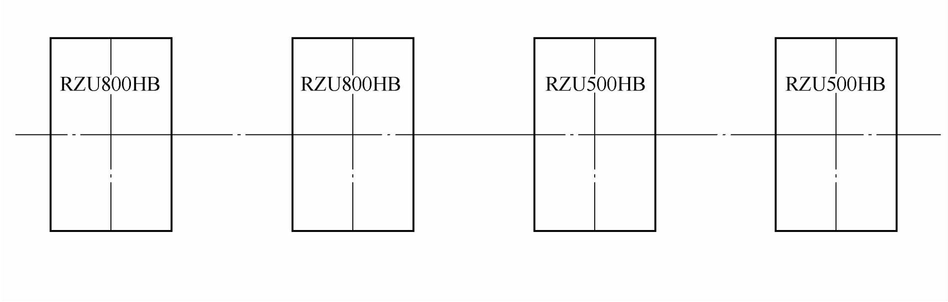


图 3-63　液压机冲压生产线

3.6.4　农业机械覆盖件冲压辅助设备

1. 开卷校平设备

当板料使用量很大时，生产企业多会使用卷料。当使用卷料时，则生产线应配备开卷机或开卷校平机，将板料开卷校平、纵向剪切或横向剪切，加工成所要求的毛坯形状，如条料、块料或其他形状。

当效率要求较高时，则需要配备开卷—校平—落料自动生产线。图 3-64 所示为德国 Weheimsinrger 公司制造的宽卷料开卷落料自动线。宽卷料由装有专用吊钩的起重机吊运到卷料送进装置 1 上，装夹在开卷装置 2、3 上进行开卷。进入多辊校平机 4 校平，经过卷料补偿圈 10 再进入卷料自动拉推送进机构 6、7，至落料压力机 5 内进行落料。剪切的毛坯滑入码料装置。新卷料端头尚未进入卷料自动拉推送进机构时，装在卷料补偿圈地坑两侧的门式框架 11 立即托起卷料端头，送入卷料自动拉推送进机构。卷料自动拉推送进机构与落料

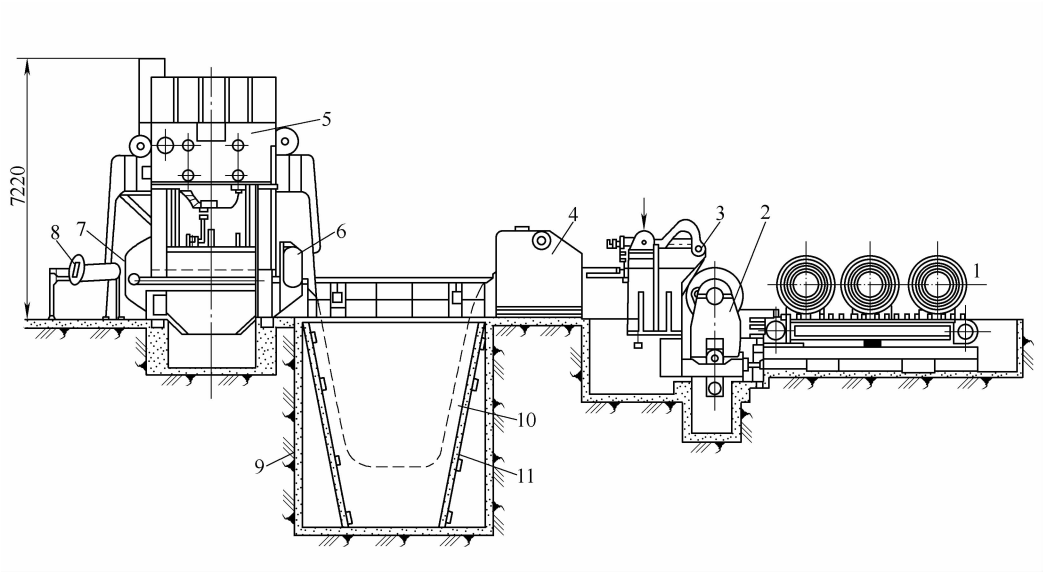


图 3-64　宽卷料开卷落料自动线

1—卷料送进装置　2、3—开卷装置　4—多辊校平机　5—落料压力机　6、7—卷料自动拉推送进机构
8—废料剪切装置　9—补偿圈地坑　10—卷料补偿圈　11—门式框架

压力机需要同步，并间歇地输送卷料，而开卷与校平机则连续输送卷料。两者之间的运转速度依靠光电控制系统调节，根据落料采样输出的反馈信号送入计算机控制系统，控制连续输送的速度，由此构成闭环控制系统。连接开卷机与校平机的卷料，依靠地坑内的补偿圈储存和补偿。

2. 备料剪切设备

备料是农业机械覆盖件冲压生产的第一步。在覆盖件生产中常用的备料设备是剪板机，根据毛坯厚度和尺寸大小的不同，选用不同规格的剪板机。

3. 零件校平设备

校冲压件校平机械，超薄校平机

4. 模修机加设备

模修机加设备主要用于模具的修理。常用的设备有车床、摇臂钻床、平面磨床、外圆磨床、万能工具铣床、模具修补焊机等。在实际应用中根据模具损坏的不同情况选择不同的修模设备。

5. 桥式起重机

桥式起重机是现代工业生产和起重运输中实现生产过程机械化、自动化的重要工具和设备。桥式起重机是横架于车间上空进行物料吊运的起重设备。主要用于板料、模具及零件的调运。

6. 电动平板转运车

它用于模具和材料的跨车间转运。

7. 电动叉车

它用于材料和零件的转运。

3.7 农业机械覆盖件冲压生产案例分析

3.7.1 拖拉机机罩前脸

机罩前脸（见图3-65）是拖拉机覆盖件中一件十分重要的零件。首先，它在拖拉机的正前方，外观质量要求非常高，表面不能有任何的擦伤和拉痕，因此，在拉深工序工艺和模具设计时就要充分考虑这一要求，尽量使模具的拉痕留在制件的工艺补充上，不能保留在最终的成品上；而且在后续生产中要采取措施，保证制件不与模具等其他物体相碰撞，以免产生擦伤。其次，机罩前脸的形状复杂，尺寸精度要求高。它前部要与前灯，上下格栅联接，后部要与机罩上盖板、机罩左、右侧板联接，每个连接孔的位置精度都要求很高。另外，其前部的装灯孔1和装上下格栅孔2都不在一个平面上，即增加了零件冲压加工的难度，都需要多次正冲、侧冲才能完成这些孔的冲裁，即增加了零件冲压加工的工序数。

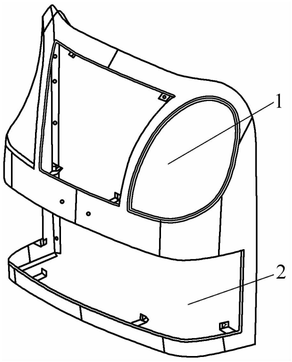


图3-65　机罩前脸
1—装灯孔　2—装上下格栅孔

根据以上分析，机罩前脸采用的工艺方案为：拉深→修边冲孔→修边吊冲孔→翻边冲孔模→侧切模→侧冲孔整形模→侧翻边侧翻耳模→翻边模。

机罩前脸的冲压成形过程如图3-66～图3-74所示的工艺卡。

3.7.2 拖拉机机罩上盖板

机罩上盖板（见图3-75）是拖拉机前部的一个外表件。它的冲压工艺难度在于零件本身是流线型的，零件两侧壁高度为432mm，零件前、后两端是敞开的。在设计本零件拉深工艺补充时一定要考虑零件的特点，不能把零件的两端完全封闭，使零件变成一个盒形件，否则零件的拉深高度太大，即拉深会变得非常困难；也不能把零件的两端完全敞开，否则零件两端无压料，即两侧壁会产生严重波浪变形，影响零件的外观质量。根据以上分析，机罩上盖板采用以下工艺方案：

1）剪切下料：剪后毛坯尺寸为（1590±1）mm×（1240±1）mm；
2）拉深：拉深工序的工艺设计图如图3-76所示。
3）修边冲孔：修边冲孔的工艺设计图如图3-77所示。
4）修边冲孔侧冲：修边冲孔侧冲的工艺设计图如图3-78所示。
5）翻边侧冲孔：翻边侧冲孔的工艺设计图如图3-79所示。
6）第一次侧翻边：第一次侧翻边的工艺设计图如图3-80所示。
7）第二次侧翻边：第二次侧翻边的工艺设计图如图3-81所示。

3.7.3 拖拉机挡泥板顶板

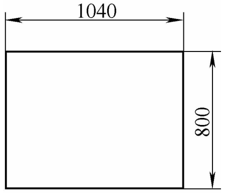
挡泥板右顶板（见图3-82）是拖拉机后部的一个重要零件，左顶板与之对称。它尺寸大，形状复杂，装配关系多。它前部通过螺钉和拖拉机驾驶室地板联接，后部通过螺钉和挡泥板防溅板联接，顶部通过螺钉和拖拉机驾驶室联接，内侧和挡泥板立板定位焊连接，外侧虽然不和其他零件相连，但要进行翻边、压合加工以得到光滑美观的外形，同时也避免了锋利的外部形状刺伤操作人员（见图3-82 Ⅰ处放大）。

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700.47.114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

材料名称	冷板	牌号	St14	厚度	1 ±0.9	剪后毛坯尺寸	1040 × 800	剪后毛坯重量	6.53	路线	备料、冲压、焊接
		标准	Q/BQB403—2003	单件净重	1.87	出制件数量	1	单件毛坯重量	6.53		

工序号	工序名称	模具号	模具尺寸 长×宽×高	模具重量 /t	使用设备及平面号	
OP10	拉深	431-F70085-OP10	1780 ×1330 ×800		E4S600-MB	IM005
OP20	修边冲孔	405-F70366-OP20	1550 ×1100 ×750		J36-630B	1J838
OP30	修边吊冲孔	404-F70117-OP30	1830 ×1120 ×700		J36-400	1K714
OP40	翻遍冲孔模	432-F70117-OP40	1420 ×1180 ×710		J36-400	1W704
OP50	侧切模	432-F70118-OP50	2100 ×1220 ×900		J36-800	1W703
OP60	侧冲孔整形模	450-F70021-OP60	1790 ×990 ×700		J36-400	1W704
OP70	侧翻边侧翻耳模	404-F70118-OP70	1630 ×1200 ×780		J36-630B	1J838
OP80	翻边模	404-F70119-OP80	2500 ×1240 ×700		J36-400	1K714

下料尺寸及排样图

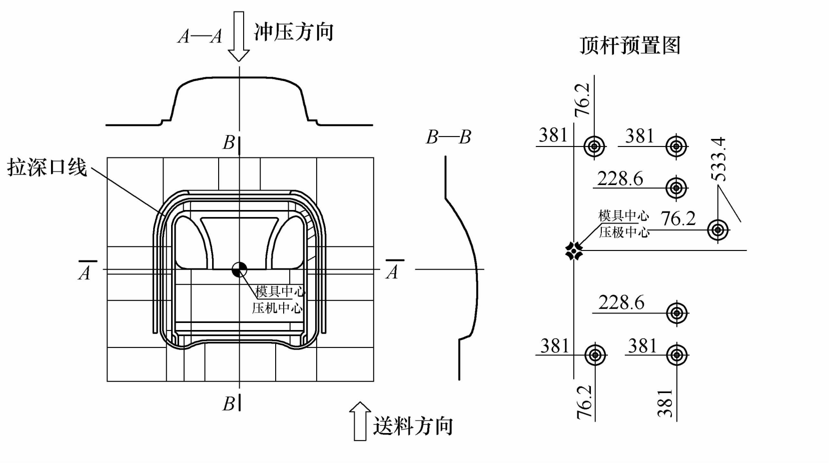


备注	（使用安全工具）	共9页	第1页

图3-66　机罩前脸冲压工艺卡

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700.47.114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

工序名称	拉深	设备型号	E4S600-MB	量具名称及规格		检具编号		单件时间定额/min	4	操作定员	2
模具号	431-F70085-OP10	平面布置号	IM005	量具编号							

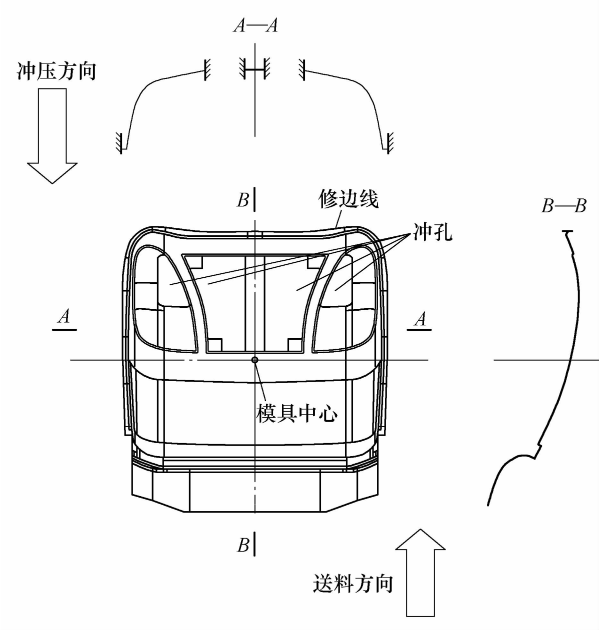
工序号	工序内容及要求	工序图及托杆分布图
OP10	工序内容	
	操作方向及顶杆尺寸(如图标识)	
	拉深高度:165mm	
	气垫行程:180mm	
	顶出高度:220mm	
	主缸压力:380t	
	顶杆压力:180t	
	顶杆数量及规格:14×ϕ40mm	
	操作步骤及注意事项	
	1. 进料—定位—拉深—出件—自检	
	2. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面	
	检查内容及抽检率	
	1. 尺寸精度按冲压零件检验卡	
	2. 表面无磕碰伤及划伤	
	3. 抽检率 10% ~30%	

备注	(使用安全工具)	共 9 页	第 2 页

图 3-67　机罩前脸拉深工序工艺卡

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700.47.114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

工序名称	修边冲孔	设备型号	J36-630B	量具名称及规格		检具编号		单件时间定额/min	2	操作定员	2
模具号	405-F70366-OP20	平面布置号	1J838	量具编号							

工序号	工序内容及要求	工序图及托杆分布图
OP20	工序内容	
	操作方向及修边内容、冲孔数量(如图标识)	
	操作步骤及注意事项	
	1. 进料—定位—修边冲孔—出件—自检	
	2. 应清除废料滑槽中废料后方可继续工作	
	3. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面	
	检查内容及抽检率	
	1. 切边冲孔断面毛刺少,冲孔毛刺高度 $<10\%t$(t 为材料厚度)	
	2. 尺寸精度按冲压零件检验卡	
	3. 表面无磕碰伤及划伤	
	4. 抽检率 10% ~30%	

备注	(使用安全工具)	共 9 页	第 3 页

图 3-68　机罩前脸修边冲孔工艺卡

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700. 47. 114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

工序名称	修边吊冲孔	设备型号	J36-400	量具名称及规格		检具编号		单件时间定额/min	2	操作定员	2
模具号	404-F70117-OP30	平面布置号	1K714	量具编号							

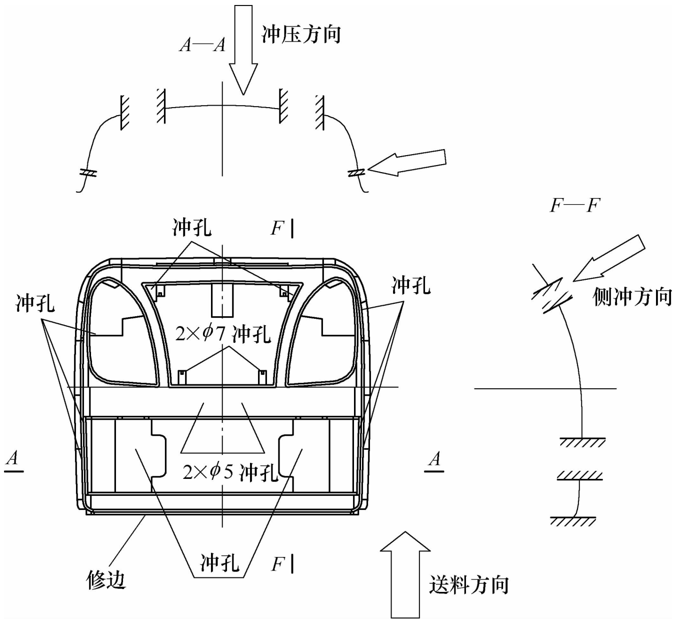
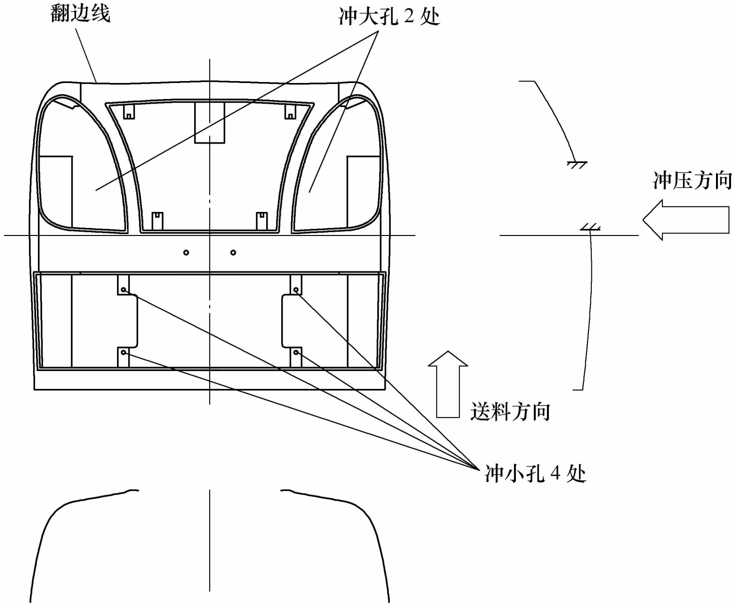
工序号	工序内容及要求	工序图及托杆分布图
OP30	工序内容	
	操作方向及翻边内容、冲孔数量及尺寸(如图标识)	
	操作步骤及注意事项	
	1. 进料—定位—翻边冲孔—出件—自检	
	2. 应清除废料滑槽中废料后方可继续工作	
	3. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面	
	检查内容及抽检率	
	1. 切边冲孔断面毛刺少,冲孔毛刺高度 <10% t(t 为材料厚度)	
	2. 尺寸精度按冲压零件检验卡	
	3. 表面无磕碰伤及划伤	
	4. 抽检率 10% ~30%	
备注	(使用安全工具)	共 9 页 第 4 页

图 3-69　机罩前脸修边吊冲孔工艺卡

<table>
<tr><td rowspan="2">冲压厂</td><td rowspan="2">冲压工艺卡</td><td>产品型号</td><td>700</td><td>零件号</td><td>700. 47. 114</td></tr>
<tr><td>每台数量</td><td>1</td><td>零件名称</td><td>机罩前脸</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>工序名称</td><td>翻边冲孔模</td><td>设备型号</td><td>J36-400</td><td>量具名称及规格</td><td></td><td rowspan="2">检具编号</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">单件时间定额/min</td><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">操作定员</td><td rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>模具号</td><td>432-F70117-OP40</td><td>平面布置号</td><td>1W704</td><td>量具编号</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>工序号</td><td>工序内容及要求</td><td>工序图及托杆分布图</td></tr>
<tr><td>OP40</td><td>工序内容</td><td rowspan="13">
</td></tr>
<tr><td></td><td>操作方向及翻边内容、冲孔数量及尺寸(如图标识)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>操作步骤及注意事项</td></tr>
<tr><td></td><td>1. 进料—定位—翻边冲孔—出件—自检</td></tr>
<tr><td></td><td>2. 应清除废料滑槽中废料后方可继续工作</td></tr>
<tr><td></td><td>3. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>检查内容及抽检率</td></tr>
<tr><td></td><td>1. 切边冲孔断面毛刺少,冲孔毛刺高度 <10% t(t 为材料厚度)</td></tr>
<tr><td></td><td>2. 尺寸精度按冲压零件检验卡</td></tr>
<tr><td></td><td>3. 表面无磕碰伤及划伤</td></tr>
<tr><td></td><td>4. 抽检率 10% ~30%</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>备注</td><td>(使用安全工具)</td><td>共 9 页</td><td>第 5 页</td></tr>
</table>

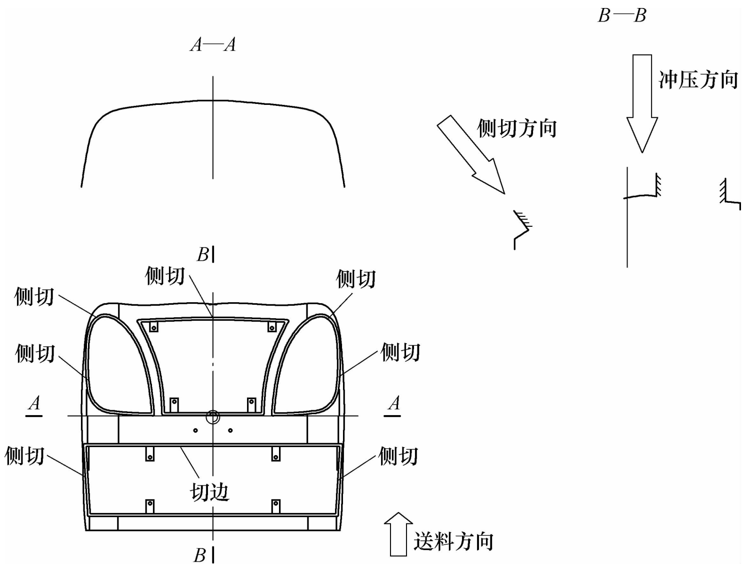
图 3-70　机罩前脸翻边冲孔工艺卡

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700. 47. 114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

工序名称	侧切模	设备型号	J36-800	量具名称及规格		检具编号		单件时间定额/min	2	操作定员	2
模具号	432-F70118-OP50	平面布置号	1W703	量具编号							

工序号	工序内容及要求
OP50	工序内容
	操作方向及切边内容、冲口数量(如图标识)
	操作步骤及注意事项
	1. 进料—定位—切边冲口—出件—自检
	2. 应清除废料滑槽中废料后方可继续工作
	3. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面
	检查内容及抽检率
	1. 切边冲孔断面毛刺少,冲孔毛刺高度 <10% t(t 为材料厚度)
	2. 尺寸精度按冲压零件检验卡
	3. 表面无磕碰伤及划伤
	4. 抽检率 10% ~30%

工序图及托杆分布图



备注	(使用安全工具)	共 9 页	第 6 页

图 3-71　机罩前脸侧切模冲压工艺卡

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700.47.114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

工序名称	侧冲孔成形	设备型号	J36-400	量具名称及规格		检具编号		单件时间定额/min	2	操作定员	2
模具号	450-F70021-OP60	平面布置号	1W704	量具编号							

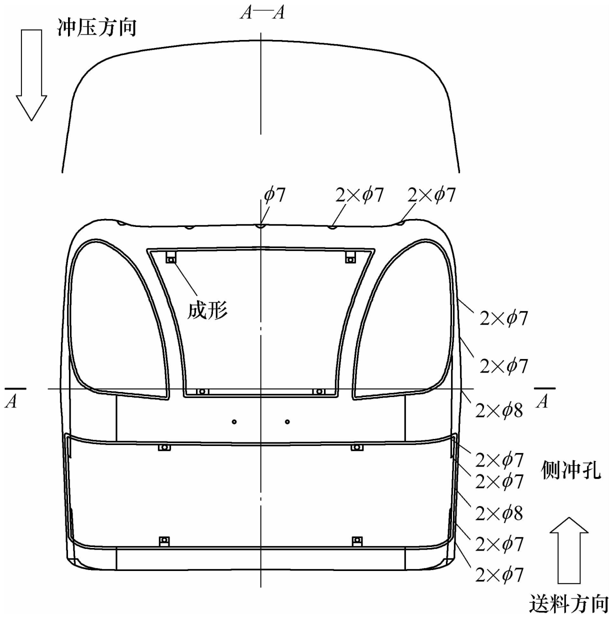
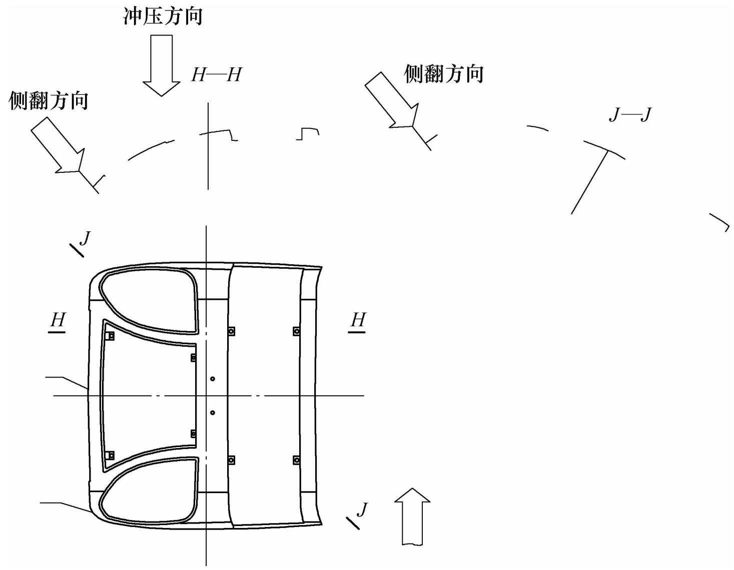
工序号	工序内容及要求	工序图及托杆分布图
OP60	工序内容	
	操作方向及整形内容、冲孔数量及尺寸(如图标识)	
	操作步骤及注意事项	
	1. 进料—定位—冲孔整形—出件—自检	
	2. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面	
	检查内容及抽检率	
	1. 切边冲孔断面毛刺少,冲孔毛刺高度 <10% t(t 为材料厚度)	
	2. 尺寸精度按冲压零件检验卡	
	3. 表面无磕碰伤及划伤	
	4. 抽检率 10% ~30%	
备注	(使用安全工具)	共 9 页 / 第 7 页

图 3-72　机罩前脸侧冲孔成形工艺卡

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700.47.114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

工序名称	侧翻边模	设备型号	J36-630B	量具名称及规格		检具编号		单件时间定额/min	2	操作定员	2
模具号	404-F70118-OP70	平面布置号	1J838	量具编号							

工序号	工序内容及要求	工序图及托杆分布图
OP70	工序内容	
	操作方向及整形、翻边内容(如图标识)	
	操作步骤及注意事项	
	1. 进料—定位—整形翻边—出件—自检	
	2. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面	
	检查内容及抽检率	
	1. 尺寸精度按冲压零件检验卡	
	2. 表面无磕碰伤及划伤	
	3. 抽检率 10% ~30%	

备注	(使用安全工具)	共 9 页	第 8 页

图 3-73　机罩前脸侧翻边工艺卡

冲压厂	冲压工艺卡	产品型号	700	零件号	700.47.114
		每台数量	1	零件名称	机罩前脸

工序名称	翻边模	设备型号	J36-400	量具名称及规格		检具编号		单件时间定额/min	2	操作定员	2
模具号	404-F70119-OP80	平面布置号	1K714	量具编号							

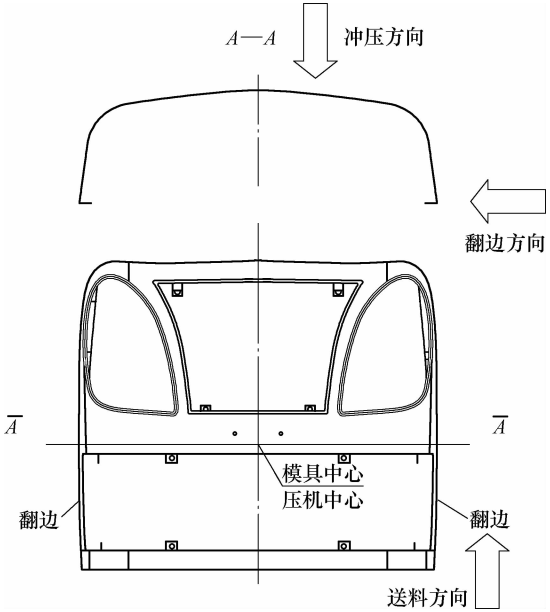
工序号	工序内容及要求	工序图及托杆分布图
OP80	工序内容	
	操作方向及翻边内容(如图标识)	
	操作步骤及注意事项	
	1. 进料—定位—翻边—出件—自检	
	2. 在传送过程中不能碰伤、划伤工作表面	
	检查内容及抽检率	
	1. 尺寸精度按冲压零件检验卡	
	2. 表面无磕碰伤及划伤	
	3. 抽检率 10% ~30%	
备注	(使用安全工具) 共9页 第9页	

图3-74 机罩前脸翻边工艺卡

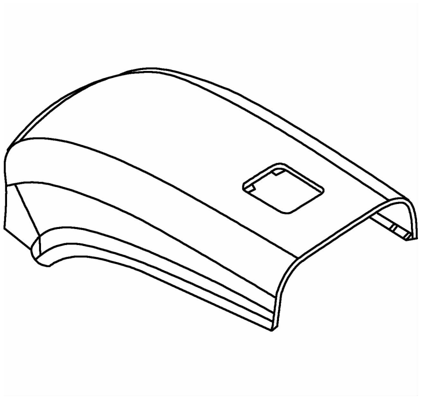


图 3-75　机罩上盖板

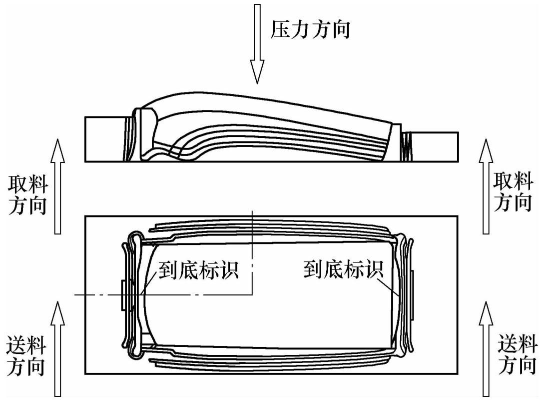


图 3-76　拉深工序的工艺设计图

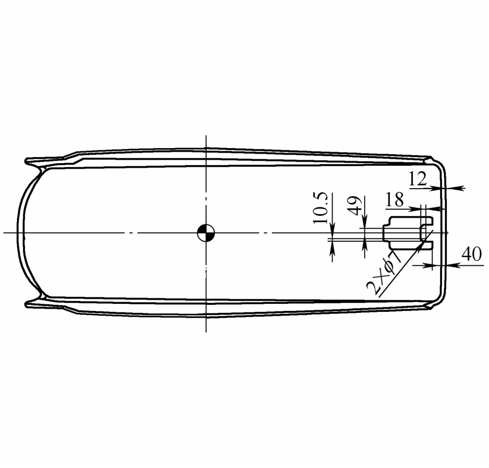


图 3-77　修边冲孔的工艺设计图

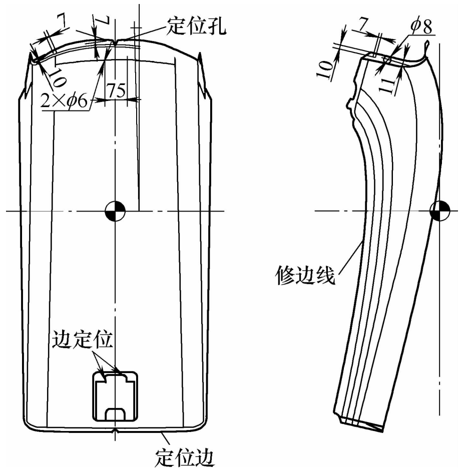


图 3-78　修边冲孔侧冲的工艺设计图

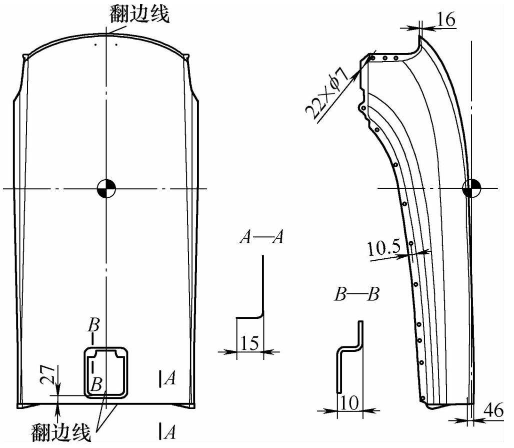


图 3-79　翻边侧冲孔的工艺设计图

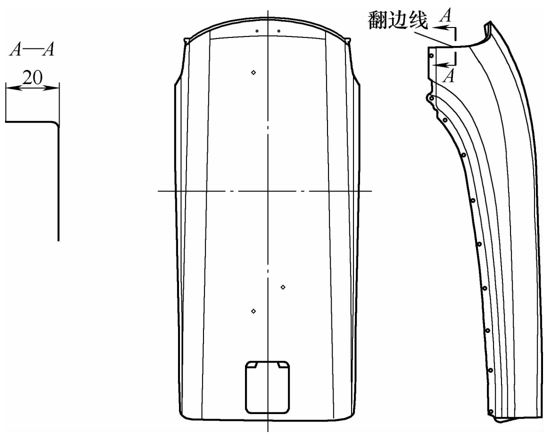


图 3-80　第一次侧翻边的工艺设计图

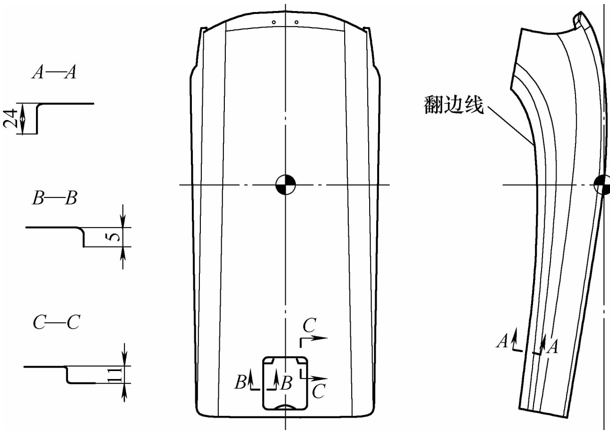


图 3-81　第二次侧翻边的工艺设计图

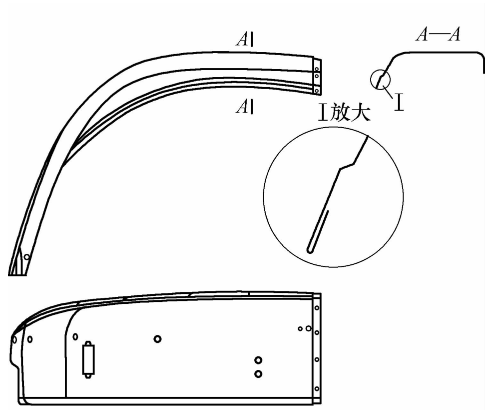


图 3-82　挡泥板右顶板

挡泥板右顶板冲压加工 DL 图，如图 3-83 所示，该零件共有 6 道冲压加工工序：①OP10

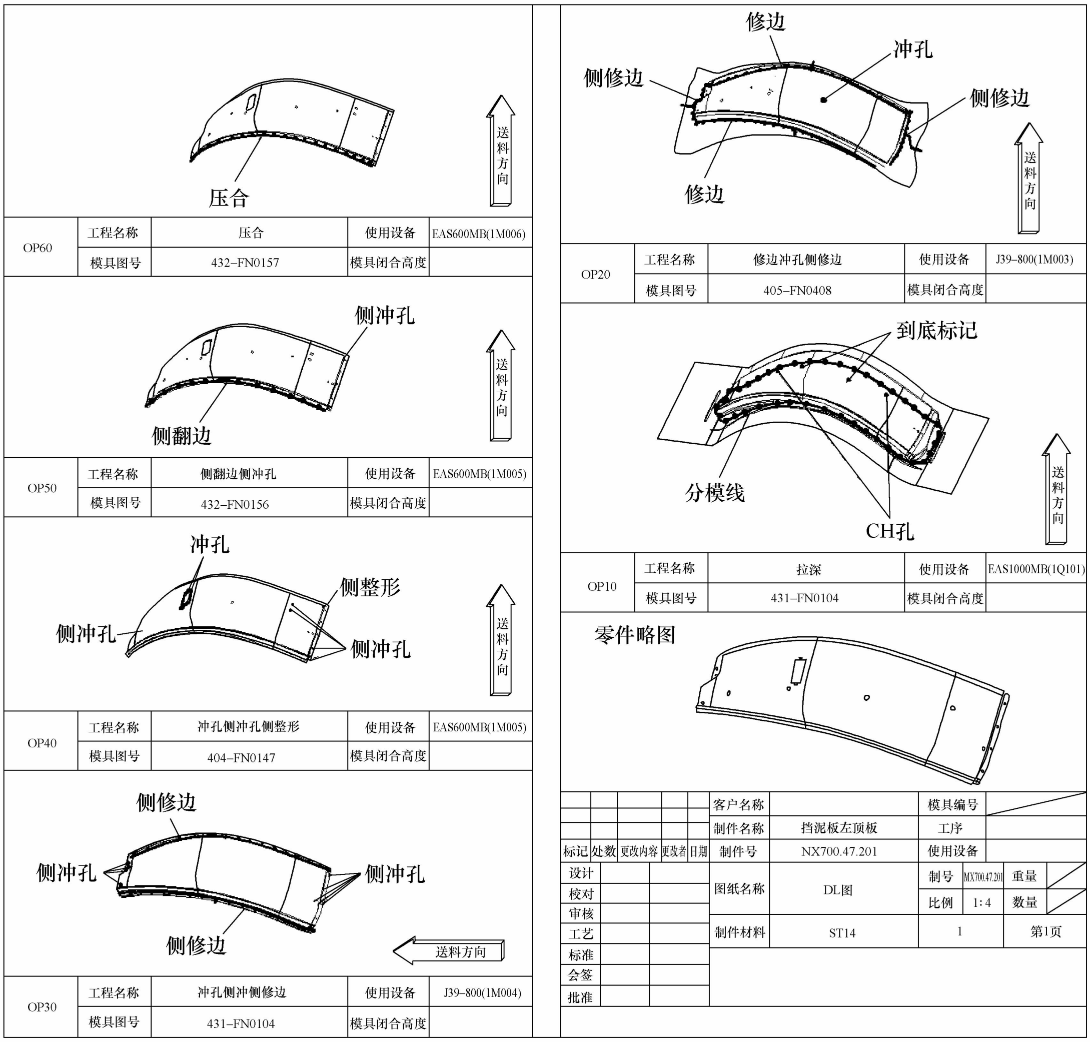


图 3-83　挡泥板顶板 DL 图

拉深，该工序的关键是确定合适的工艺补充和选择合理的冲压方向。②OP20 修边冲孔侧修边，该工序的工艺内容为正修两侧边，是粗修边，没有达到产品的尺寸要求，是为后续的精修两侧边作准备；侧修两端头是精修边，达到产品的尺寸要求，并冲出零件顶部与拖拉机驾驶室连接的 1 个孔。③OP30 冲孔侧冲修边，该工序的工艺内容为侧修两侧边，是精修边，达到产品的尺寸要求，并冲出零件前部与拖拉机驾驶室地板连接的 4 个孔和零件后部与挡泥板防溅板连接的 5 个孔。④OP40 冲孔侧冲孔整形，该工序的工艺内容为正冲 3 个异形前灯安装孔、1 个与拖拉机驾驶室连接孔，侧冲 5 个安装孔并进行局部整形。⑤OP50 侧翻边侧冲孔，该工序的工艺内容为侧翻零件外侧的边，为压合该边作准备。⑥OP60 压合，该工序的工艺内容为压合零件外侧的边，得到光滑美观的外形，防止锋利的外部形状刺伤操作人员。

各工序模具图如图 3-84 ~ 图 3-89 所示。

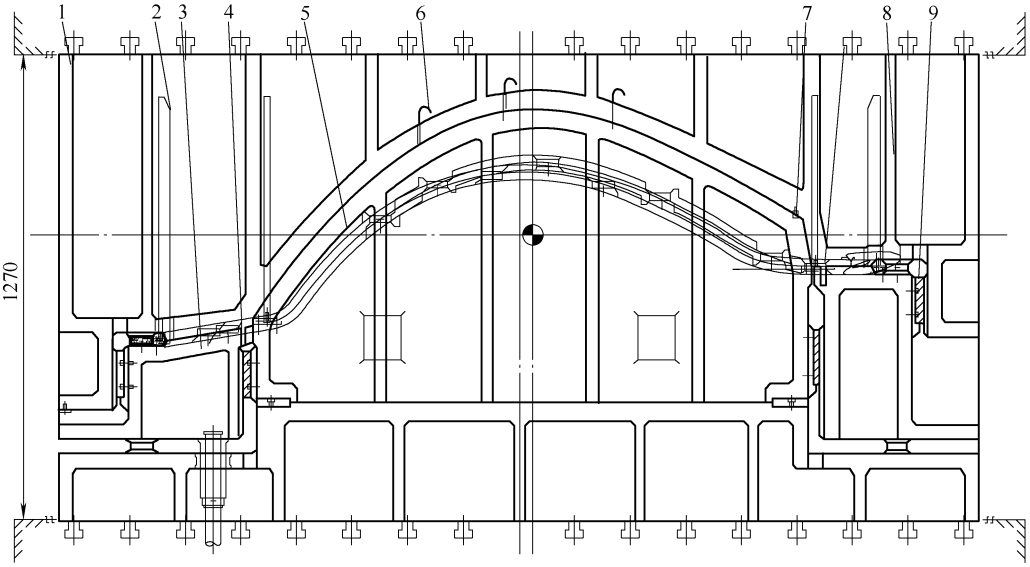


图 3-84　OP10 拉深工序模具图

1—上模体　2—挡料板　3—压边圈　4—顶料销　5—凸模　6—排气孔　7—到底标记　8—平衡块　9—强导向板

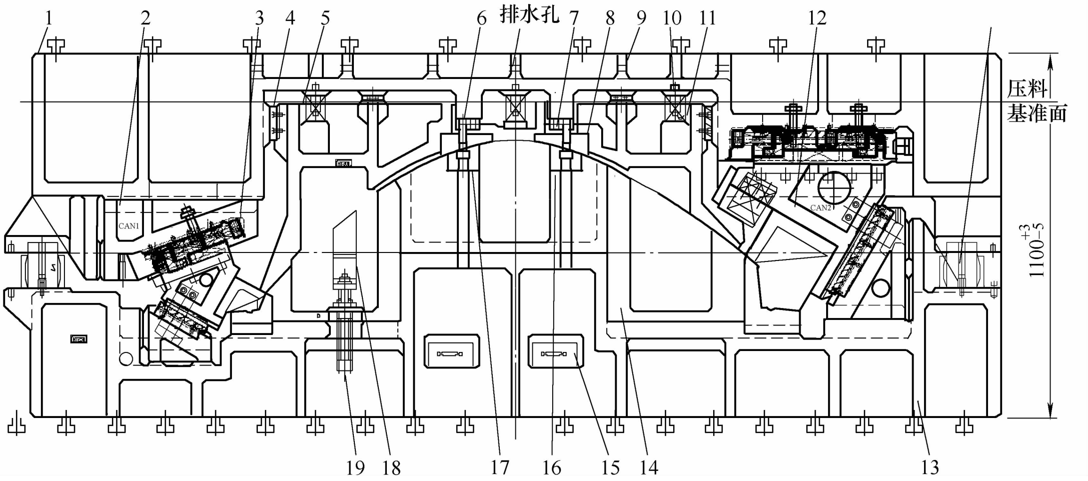


图 3-85　OP20 修边冲孔侧修边工序模具图

1—上模座　2—斜楔　3—修边凹模镶块　4—内导板　5—压料板　6、7—冲孔凸模　8—压料板镶块　9—压料板调整垫　10—弹簧导向销　11—弹簧　12—缓冲装置　13—下模座　14—修边凸模镶块　15—废料盒　16、17—冲孔凹模　18—托料器组件　19—托料气缸

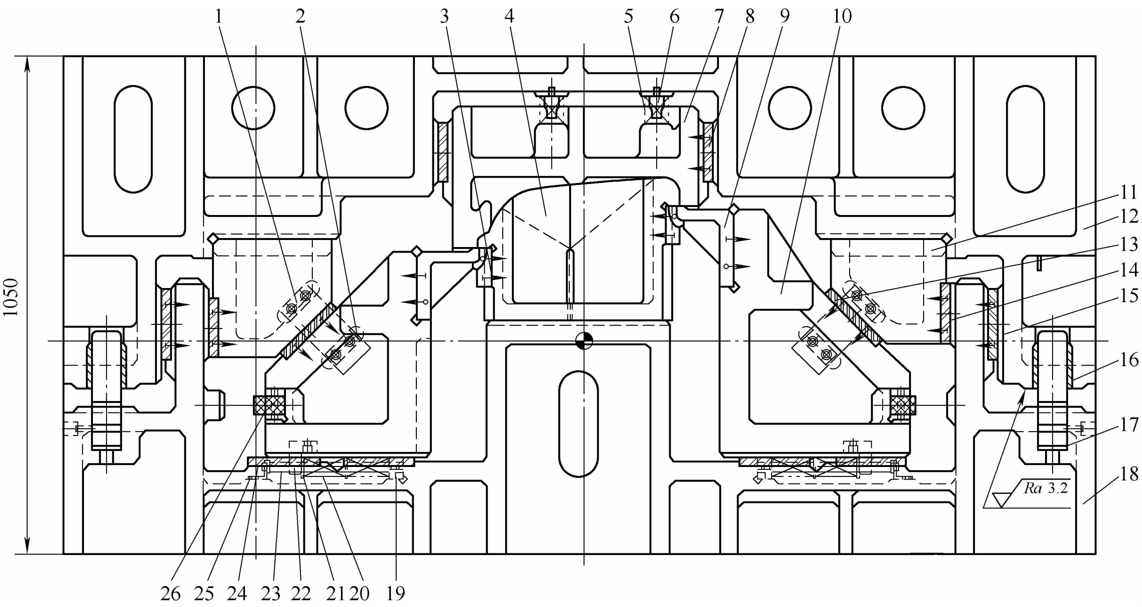


图 3-86　OP30 冲孔侧冲侧修边工序模具图

1—回程拉板　2—强制拉回块　3—废料镶块　4—侧修边凸模　5—弹簧　6—弹簧定位销　7—压料板　8—内导板　9—侧修边凹模　10—滑块　11—斜楔　12—上模座　13—导板（滑块上）　14—导板（斜楔上）　15—外导板　16—导套　17—导柱　18—下模座　19—支座　20—回程弹簧　21—垫圈　22—压座　23—芯轴　24—导板（滑块下）　25—角钢　26—回程限位块合件

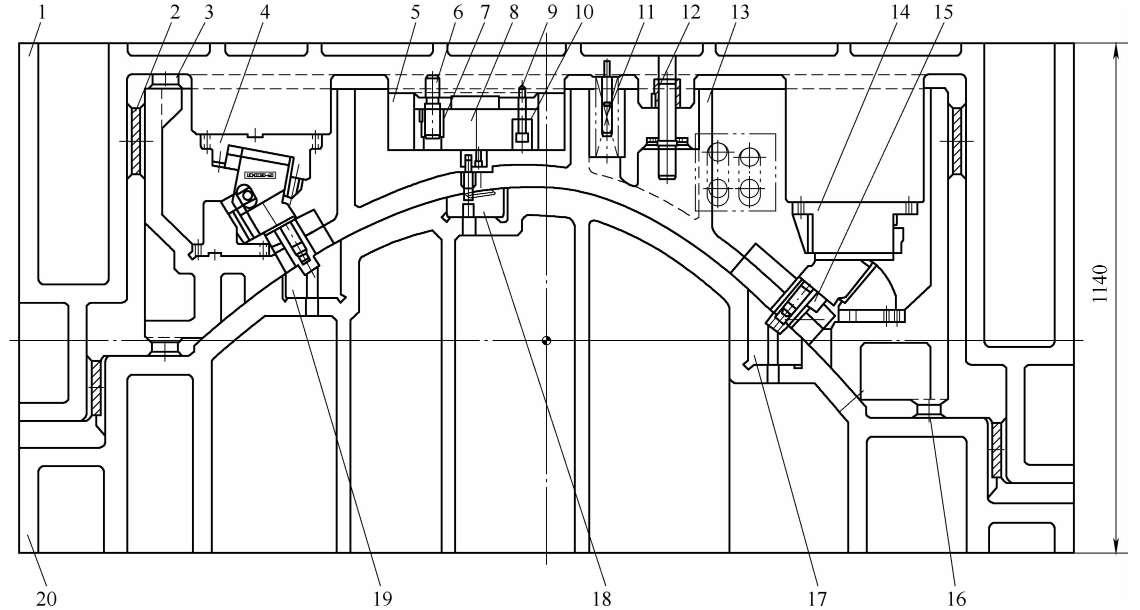


图 3-87　OP40 冲孔侧冲孔侧整形工序模具图

1—上模座　2—内导板　3—压料板调整块　4—斜楔　5—固定板　6—小导柱　7—小导套　8—活板　9—固定板螺钉　10—固定板垫块　11—弹簧　12—小导柱、导套合件　13—压料板　14—斜楔　15—冲孔合件　16—调整垫　17、18、19—凹模镶块　20—下模座

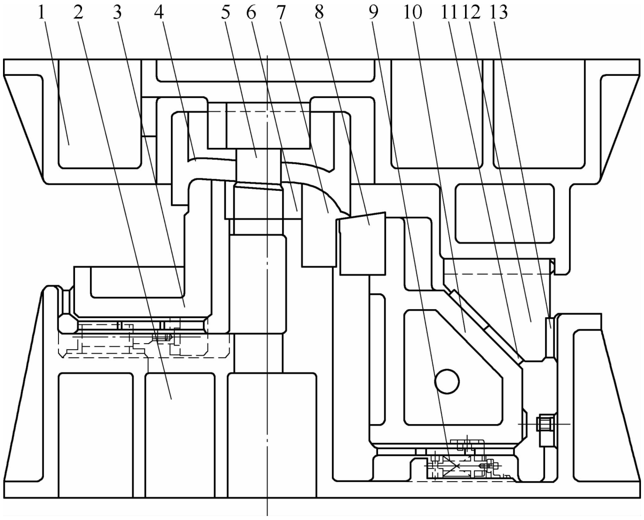


图 3-88　OP50 侧翻边侧冲孔工序模具图

1—上模座　2—下模座　3—活动定位板　4—退料板　5—冲孔凸模　6—冲孔凹模　7—翻边凹模　8—翻边凸模　9—滑块回位装置　10—翻边滑块　11、13—导板　12—斜楔

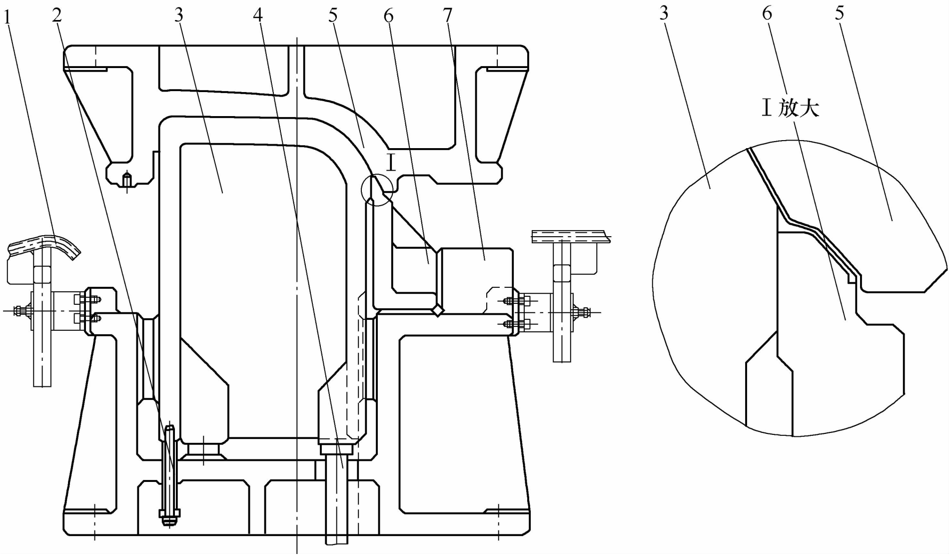


图 3-89　OP60 压合工序模具图

1—上料架　2—限位螺钉　3—压料板　4—托杆　5—上模座（压合凹模）　6—托料板　7—翻边凸模

参 考 文 献

[1]　刘玉华. 拖拉机覆盖件的机构设计 [J]. 拖拉机，1984 (3)：50 ~ 55.

[2]　谢芳. 拖拉机覆盖件材料的变迁——DCPD 在拖拉机覆盖件中的应用 [J]. 设计与制造，2006 (18)：59 ~ 60.

[3]　郑金桥，黄勇，王义林，等. 汽车覆盖件冲压工艺设计现状及发展趋势 [J]. 塑性工程学报，2003，10 (6)：9 ~ 13.

[4]　王孝培. 冲压手册 [M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，2004.

[5]　中国机械工程学会塑造性工程学会. 锻压手册第 2 卷：冲压 [M]. 3 版. 北京：机械工业出版社，2008.

[6]　程国良. 汽车车身冲压模具开发同步工程的关键技术研究及应用 [D]. 长沙：湖南大学，2008.

第 4 章 管材件成形技术

4.1 概述

4.1.1 引言

空间成形管材件在农业机械、工程机械、汽车工业的一些框架结构组件上应用得越来越多。由于框架结构的驾驶室在力学、强度、安全性、视野及外观造型上的多种要求，使得管材成形不再是简单的直管平面造型，而是向平面圆弧造型和空间的三维曲线造型发展。管材空间成形可满足塑性成形产品轻量化、强韧化、低耗高效和精确制造等方面要求，是先进加工技术面向 21 世纪研究与发展的一个方向。

4.1.2 管材成形技术

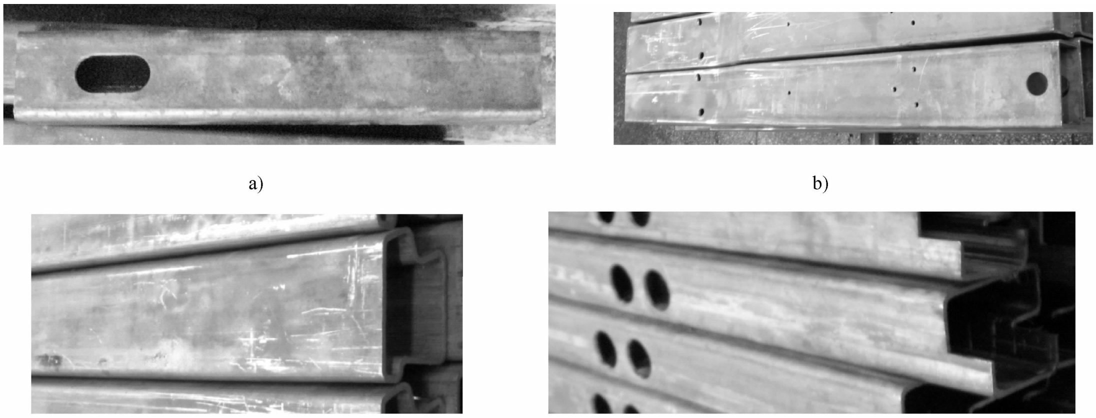
管材成形技术是指以管材为毛坯进行各种加工以得到制件的加工工艺，称为管材的二次加工，简称管材加工。它是从传统的冲压工艺发展起来的一种新的加工技术。由于管材冲压方法具有工艺简便、成本低、效率高、质量好等一系列优点，这种加工技术在现代工业生产中，越来越受到重视。它在航空航天、汽车、摩托车、机械、化工等工业部门得到广泛应用。同时也为管材在工程上的广泛应用展示出诱人的前景。根据管材零件的技术条件及不同使用要求，应选用相应的成形方法。在实际生产中，管材加工的常见方法有管材弯曲、管材切割、管材胀形、翻卷成形等。

管材的冲压与板材的冲压、尽管都是称之为冲压加工方法，因其管材是空心截面，所以其工艺方法、工装结构设计，主要出现的产品质量问题以及防止措施等方面，都存在着较大的不同。

1. 管材切割

管材切割是使管材的一部分与另一部分产生分离的一种加工方法。在生产中，对管材的切断通常分为两类。一类是机械切割，如车切、锯切、砂轮切断等；另一类是冲压剪切方法，它包括管材切断、端口形样冲裁、冲孔以及切口等。比较而言，机械切割的质量稳定，但生产率低，而冲压剪切方法则可大大提高生产率，只要采用的工艺合适，就能较好地保证切割断面质量。管材切割是制造管材零件的基本工序，既可以直接切割出需要的零件，也可以用来为复杂管材成形加工毛坯，是管材加工中常见的一种加工方法。它与板材切割相比，由于自身的形状（空心截面）特点，切割时管壁容易被压扁，因而要采取复杂的工艺措施来防止这一缺陷的产生，所以管材切割工艺比较复杂。而管材剪切与其他加工工艺相比，由

于加工速度快，生产效率高，适合大批量生产，所以应用广泛。图 4-1 所示的零件即为管材切割件。



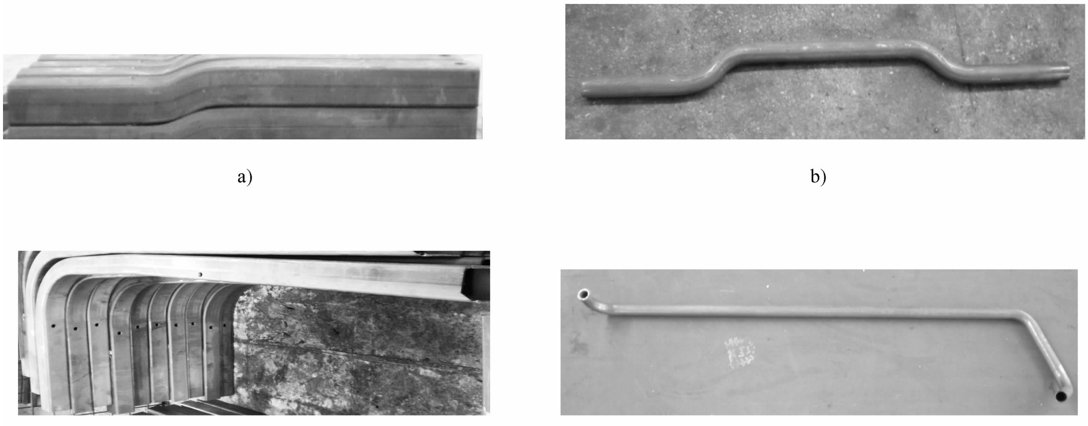
a)　b)　c)　d)

图 4-1　管材切割成形零件

a）冲孔　b）钻孔　c）锯切　d）铣削

2. 管材弯曲

管材弯曲是指通过对管材施加压力使管材成形，使它具有一定曲率半径、一定弯曲角度的零件的加工方法。管材弯曲是随着汽车、摩托车、自行车、石油化工等行业的兴起而发展起来的。在农业机械的冲压加工中管材弯曲也得到了广泛的应用。管材弯曲可以使用模具压弯，也可以通过专用的弯曲设备进行，比如在弯管机、滚弯机、拉弯机上进行弯曲。通过管材弯曲可以得到如图 4-2 所示的弯曲件。



a)　b)　c)　d)

图 4-2　管材弯曲成形零件

a）模具压弯弯管　b）、c）、d）数控弯管设备弯管

3. 管材胀形

管材胀形是依靠材料的拉深，在压力的作用下是直径较小的管沿径向向外扩张的成形方

法。根据关键的要求，胀形既可以对管坯的局部进行扩张，也可对整个管坯进行扩张。管材胀形可以在机械压力机、液压机或专用设备及其他专用装置上完成。通过管材胀形可以得到如图 4-3 所示的零件。

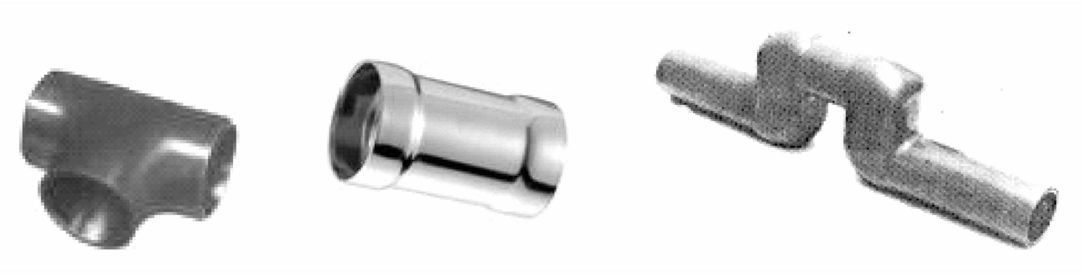


图 4-3　管材胀形成形零件

4. 管材翻卷成形

管材翻卷成形是从传统的冲压翻边、缩口工艺发展起来的特种成形工艺，它是通过模具对管件施加轴向压力使管材口部边沿产生局部弯曲的变形过程。利用此项技术制造零件具有工艺简单、工序少、成本低、质量好等一系列优点，甚至可以生产出用其他冲压方法难以得到的零件。此工艺已在汽车、航空航天等工业领域得到广泛应用。

管材翻转成形有两种基本方式，即外翻卷和内翻卷（见图 4-4）。

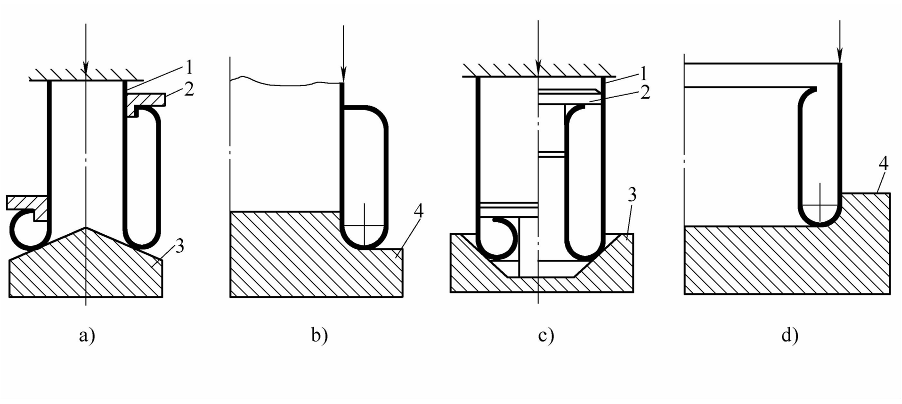


图 4-4　管材翻卷成形示意图

a)、b) 外翻卷　c)、d) 内翻卷

1—管坯　2—导流环　3—锥模　4—圆角模

4.1.3　框架式驾驶室结构简介

传统的拖拉机驾驶室几乎全部采用结构设计复杂的薄壁钣金件，通过将内、外板焊接在一起组成驾驶室的整体结构，其设计及制造技术较成熟。但钣金结构设计工作量大、周期长、改型困难，需要开发钣金件的冲压模具，在小批量专用车驾驶室开发制造中，成本偏高。针对上述特点，结合国、内外有关框架结构的相关研究，如目前大量客车车身骨架的设计和一些小批量电动车车身结构的设计研究等，目前开发了框架式拖拉机驾驶室。

1. 框架构成

框架式驾驶室是根据钣金结构驾驶室尺寸参数及其主要的硬点特征，留出车门、挡风玻璃、地板凸包等的设计空间，忽略实际结构的加强筋、工艺孔等结构，且设置所有板件厚度均相同，从而建立的基本结构几何模型。如图 4-5 所示的 100 马力框架驾驶室，主要由各种截面形状的直管件和弯管成形件共同组成。

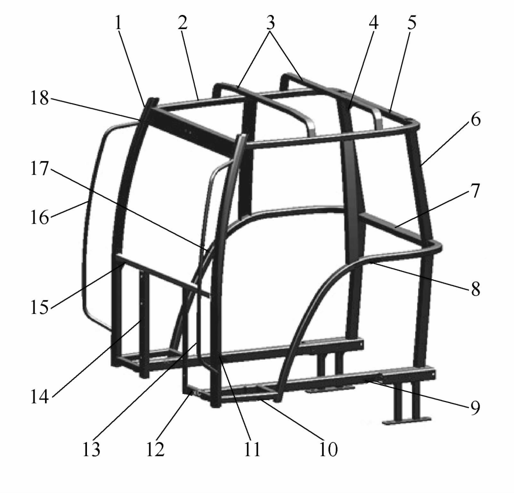


图 4-5　框架式驾驶室结构图

1—右前立柱　2—右上边梁　3—顶上横梁　4—右后立柱　5—后上横梁　6—左后立柱　7—后下横梁　8—左下边梁　9—纵梁　10—门槛梁　11—左前立柱　12—前下横梁　13—左上车扶手　14—前下纵梁　15—前中横梁　16—右上车扶手　17—右下边梁　18—前上横梁

2. 框架特点

框架式驾驶室，由车身骨架及外蒙皮组成，其特征在于：车身骨架分为地板框架、左侧围框架、右侧围框架、顶盖框架、前围框架及后围框架六部分，六部分之间用金属型材为方钢管和各种异型管焊接而成，外部的外蒙皮通过焊接或粘接与骨架固定。其整体刚性好、性能可靠；同时具有开发成本低，生产周期短，适合小批量生产的特点，能满足现有驾驶室对于弯曲扭转刚度的要求，能满足安全法规对于驾驶室的要求。而且这种结构的驾驶室易于改型，制造工艺简单，特别适合小批量货车和专用车辆驾驶室采用。

4.2　管材成形件分类及材料要求

钢管与圆钢等实心钢材相比，在抗弯抗扭强度相同时，重量较轻，是一种经济截面钢材，而且用钢管制造环形零件，可提高材料利用率，简化制造工序，节约材料和加工工时，如滚动轴承套圈、千斤顶套等，目前已广泛用钢管来制造。钢管还是各种常规武器不可缺少的材料，枪管、炮筒等都要钢管来制造。所以管材成形零件越来越多地使用于农业机械、工程机械、汽车工业、国防工业产品的一些框架结构组件上。

4.2.1　管材成形件材料分类

管材成形件的种类有很多，常用的分类方法有以下几种。

1. 按生产方法分类

（1）无缝管　无缝管是一种具有中空截面、周边没有接缝的长条钢材。钢管具有中空截面，大量用作输送流体的管道，如输送石油、天然气、煤气、水及某些固体物料的管道等。

根据不同的设计和用途，农业机械上使用的一般为结构用无缝钢管（GB/T 8162—2008），冷拔或冷轧精密无缝钢管（GB 3639—2009）和异型无缝钢管。

无缝钢管是用于一般结构和机械结构的无缝钢管。冷拔或冷轧精密无缝钢管是用于机械

结构、液压设备的尺寸精度高和表面光洁度好的冷拔或冷轧精密无缝钢管。异型无缝钢管是除了圆管以外的其他截面形状的无缝钢管的总称。按钢管截面形状尺寸的不同又可分为等壁厚异型无缝钢管（代号为 D）、不等壁厚异型无缝钢管（代号为 BD）、变直径异型无缝钢管（代号为 BJ）。异型无缝钢管广泛用于各种结构件、工具和机械零部件。和圆管相比，异型管一般都有较大的惯性矩和截面模数，有较大的抗弯抗扭能力，可以大大减轻结构重量，节约钢材。

（2）焊管　焊接钢管也称焊管，是用钢板或钢带经过卷曲成形后焊接制成的钢管。焊接钢管生产工艺简单，生产效率高，品种规格多，设备投资少，但强度一般低于无缝钢管。20 世纪 30 年代以来，随着优质带钢连轧生产的迅速发展以及焊接和检验技术的进步，焊缝质量不断提高，焊接钢管的品种规格日益增多，并在越来越多的领域代替了无缝钢管。

1）按工艺分可分为电弧焊管、电阻焊管（高频、低频）、气焊管、炉焊管。

2）按焊缝分可分为直缝焊管、螺旋焊管。

直缝焊管生产工艺简单，生产效率高，成本低，发展较快。螺旋焊管的强度一般比直缝焊管高，能用较窄的毛坯生产管径较大的焊管，还可以用同样宽度的毛坯生产管径不同的焊管。但是与相同长度的直缝管相比，焊缝长度增加 30% ~100%，而且生产速度较低。因此，较小口径的焊管大都采用直缝焊，大口径焊管则大多采用螺旋焊。

2. 按断面形状分类

钢管按断面形状的不同可分为简单断面钢管和复杂断面钢管。

（1）简单断面钢管　简单断面钢管包括圆形钢管、方形钢管、椭圆形钢管、三角形钢管、六角形钢管、菱形钢管、八角形钢管、半圆形钢圆及其他形状钢管，图 4-6 所示为常见的管材截面形状。

由于在周长相等的条件下，圆面积最大，用圆形管可以输送更多的流体。此外，圆环截面在承受内部或外部径向压力时，受力较均匀，因此，绝大多数钢管是圆管。

但是，圆管也有一定的局限性，如在受平面弯曲的条件下，圆管就不如方、矩形管抗弯强度大，一些农机具骨架、钢木家具等就常用方、矩形管。根据不同用途还需要其他截面形状的异型钢管。

（2）复杂断面钢管　复杂断面钢管有不等边六角形钢管、五瓣梅花形钢管、双凸形钢管、双凹形钢管、瓜子形钢管、圆锥形钢管、波纹形钢管、表壳钢管及其他形状钢管。

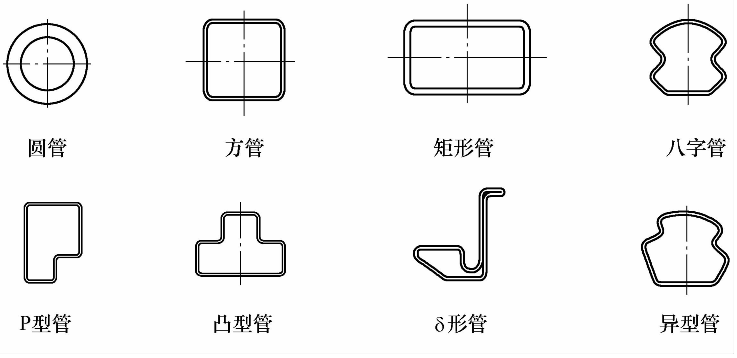


图 4-6　管件截面形状

3. 按壁厚分类

管材件按照壁厚的不同可分为薄壁钢管和厚壁钢管。对农业机械上的管件通常将厚度≤2mm的管件称为为薄壁管件，厚度 2 ~6mm 的管件称为厚壁管件。

4. 按用途分类

管材件按照用途的不同可分为管道用管件、热工设备用件管、机械工业用件管、石油、地质钻探用管件、容器管件、化学工业用管件、特殊用途管件等。

5. 按材料分类

管材件按照管件材料的不同可分为铸钢管件、铸铁管件、不锈钢管件、塑料管件、PVC 管件、橡胶管件、石墨管件等。

4.2.2 成形件材料技术要求

为保证管件的成形质量，弯管零件对管材的力学性能以及尺寸精度都有一定的要求。不同的设备、不同的零件对管材的要求也有所不同。下面以中国一拖集团有限公司（以下简称一拖公司）弯管的实际情况说明成形件材料的技术要求。

一拖公司使用的弯管设备为 CNC 自动数控弯管机，为了使自动数控弯管机能够正常进行生产，降低弯管回弹等因素带来的管件一致性差和减少后期校正工作，根据国家标准规定的结构用冷弯型钢标准确定了公司内部使用的采购标准，称之为精密管采购。具体要求如下：

1）碳素结构钢的化学成分与力学性能应符合 GB/T 700—2006 的规定；低合金结构钢的化学成分与力学性能应符合 GB/T 1591—2008。精密管常用型材材料主要力学性能见表 4-1。

表 4-1　精密管常用型材材料主要力学性能

材料牌号	拉伸强度 R_m/(N/mm^2)	屈服强度 σ_s/(N/mm^2)	伸长率 δ/%
Q215	335 ~450	215 ~340	≥31
Q235	375 ~500	235 ~375	≥26
Q255	410 ~550	255 ~415	≥24
Q275	490 ~630	275 ~475	≥20
Q345	470 ~630	345 ~475	≥21
Q390	490 ~650	390 ~490	≥19
Q420	520 ~680	420 ~510	≥18
Q460	550 ~720	460 ~540	≥17

注：精密管的力学性能与 GB/T 700—2006 和 GB/T 1591—2008 相比较增加了材料屈服强度上限值的规定。

2）精密管常用冷弯空心型钢外形尺寸允许偏差及批外形尺寸波动量见表 4-2。

表 4-2　常用冷弯空心型钢外形尺寸允许偏差及批外形尺寸波动量

项 目	尺寸及精度/mm						
边长	20	30	40	50	60	70	80
允许偏差	±0.2	±0.2	±0.25	±0.25	±0.25	±0.3	±0.3
批尺寸波动量	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3
边 长	90	100	110	120	130	—	—
允许偏差	±0.3	±0.4	±0.4	±0.4	±0.45	—	—
批尺寸波动量	0.3	0.4	0.4	0.4	0.45	—	—

注：精密管的外形尺寸与 GB/T 6728—2002 和 GB/T 6725—2008 相比较提高了允许偏差的尺寸精度并增加了批量尺寸波动量的公差要求。

3）精密管壁厚尺寸允许偏差见表 4-3。

表 4-3　精密管壁厚尺寸允许偏差

项　目	尺寸及精度/mm				
壁厚 t	2	3	4	5	6
允许偏差	±0.1	±0.1	±0.15	±0.15	±0.2

4）矩形及方形空心精密管型钢相邻平面夹角允许 90°±45′。

5）精密管截面平面凸凹度原则上只允许凸，凸度小于该边长 0.6%；若平面有凹度，则凹度不超过该边长的 0.5%，边长大于 100mm 的平面凹度最小值为 0.4mm。

6）精密管每米弯曲度小于 1mm，总弯曲度小于总长度 0.15%。

7）精密管焊管焊筋位置偏差 a（见图 4-7）小于 6mm。

8）精密管焊管焊筋内高度 h（见图 4-7）要求见表 4-4。

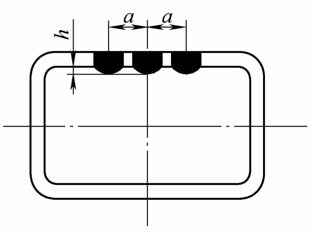


图 4-7　精密管焊管焊筋尺寸

表 4-4　精密管焊管焊筋内高度

项　目	尺寸及精度/mm		
壁厚 t	$t \leqslant 4$	$4 < t < 8$	$t \geqslant 8$
高度 h	≤2mm	≤4mm	≤5mm

9）钢管应有钢号及标准代号印记，钢管质量应符合相应的钢管技术标准要求。

10）钢管材料应按质量合格证书或质量保证书进行质量验收。质量合格证书或质量保证书应标明钢号、化学成分、力学性能。

4.3　管材件弯曲成形工艺

4.3.1　管材弯曲成形原理及变形特点

如图 4-8 所示，管材在外力矩 M 的作用下在产生弯曲变形，弯曲变形区的外侧材料受到切向拉伸而伸长，内侧材料受到切向压缩而缩短。由于切向应力 σ_θ和应变 ε_θ沿管材断面的分布是连续的，故当弯曲过程结束，由拉伸区过渡到压缩区，在其交界处一定存在着一层纤维，它的长度等于管坯的原始长度，即该层纤维的应变 ε_θ为 0，此纤维层称为应变中性层，它在断面中的位置可用曲率半径 ρ_ε以表示。切向应力 σ_θ沿断面的分布，由弯曲外侧的拉应力转变为内侧的压应力，其断面内也一定存在着一层纤维，该纤维层上的应力 σ_θ为 0，此纤维层称为应力中性层，它在断面中的位置可用曲率半径 ρ_θ表示。

管坯在弹性弯曲阶段，应力沿断面呈线性分布，应力与应变间的关系遵守胡克定律，故应力中性层和应变中性层相互重合并通过断面重心。随着弯曲过程的进行，当弯曲变形程度超过材料的屈服极限后，变形性质由弹性变为塑性，这时在弯曲过程中应力中性层和应变中性层不仅不相互重合，也不通过断面重心，而是随曲率的增大逐渐向曲率中心方向移动，并且应力中性层的移动量大于应变中性层的移动量。不过，当弯曲变形程度不大时，中性层的移动量很小，为简化分析和计算，通常都忽略不计，而认为在弯曲过程中应力中性层与应变

中性层重合且通过断面重心，并用ρ表示弯曲后断面重心层的曲率半径。在实际生产中，当计算弯曲件的管坯长度时，为使计算更加简便，有时也用断面中心层的曲率半径代替中性层的曲率半径来近似计算，这是因为最终的管坯长度需试模后才能确定。

由金属塑性成形原理可知，任一变形过程，其变形区的应力应变状态都与变形条件有关。在此仅对管材的均匀弯曲（只承受弯曲力矩M）进行分析讨论。

假定均匀弯曲过程中，材料纤维之间没有相对错动，弯曲变形区的应力应变状态如图4-8所示，其中A点表示弯曲外区（拉伸区）的应力应变状态，B点表示弯曲内区（压缩区）的应力应变状态。

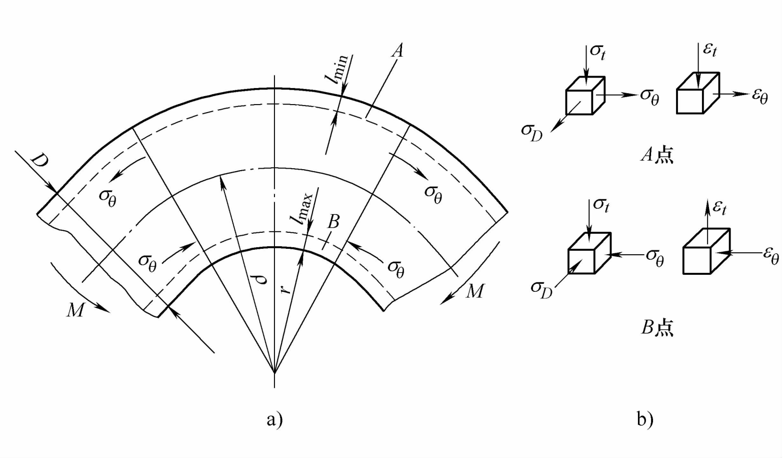


图4-8　管材弯曲时的受力及应力应变状态

a）受力状态　b）应力应变状态

当弯曲变形程度较小时，仅在切向产生较大的应力σ_θ，而管壁厚度方向和圆周方向产生的应力σ_t、σ_D都很小，理论分析时可以忽略不计，应力中性层可视为与应变中性层重合，并通过断面重心。随弯曲变形程度增大，塑性变形区由断面的外缘和内缘逐渐向中间扩展，立体的应力状态逐渐显著起来。

管材弯曲变形时，主要是依靠中性层内、外纤维的缩短与伸长，故切向应变ε_θ即为绝对值最大的主应变。根据塑性变形体积不变条件（三个主应力代数值之和为0），另两个方向上必然产生与ε_θ符号相反的应变。假定弯曲过程中管径不发生变化（即周向应变ε_D为0），则可视为平面应变状态，即$|\varepsilon_\theta| = |\varepsilon_t|$。

由上述应力应变分析可知，在中性层外侧的材料受切向拉伸应力，使管壁减薄；中性层内侧的材料受切向压应力，使管壁增厚。由于位于弯曲变形区最外侧和最内侧的材料受切向应力最大，故其管壁厚度的变化也最大。当变形程度过大时，最外侧管壁会产生裂纹（见图4-9a），最内侧管壁会出现起皱（见图4-9b），弯曲后截面也易发生畸变而成为近似椭圆形（见图4-9c）。

4.3.2　管材弯曲成形工艺分类

管材弯曲方法颇多，按弯曲方式可分为压弯、拉弯、推弯、绕弯和滚弯；按弯曲时加热与否可分为冷弯和热弯；按弯曲时有无填充物可分为有芯（填料）弯管和无芯（填料）弯

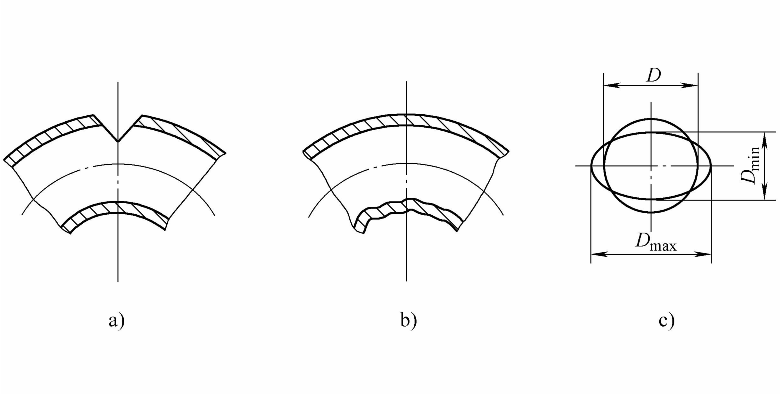


图 4-9　管材弯曲缺陷

a）外侧开裂　b）内侧起皱　c）截面畸变

管。有时为满足管件的特定形状要求，或为减轻弯曲加工工艺难度，也采用其他的特殊弯管方法，如折皱弯管方法等。各种弯曲工艺方法的归纳如下。

1. 按弯曲方式分类

（1）压弯　压弯是最早用于管材弯曲加工的工艺方法，它是在液压机或机械压力机上利用模具或模胎对管坯进行弯曲，压弯成形原理如图 4-10 所示。压弯方法既可弯制带直段的管件，又可弯制弯头。目前，压弯主要用于压制弯头，它在弯头生产中已获得广泛应用。

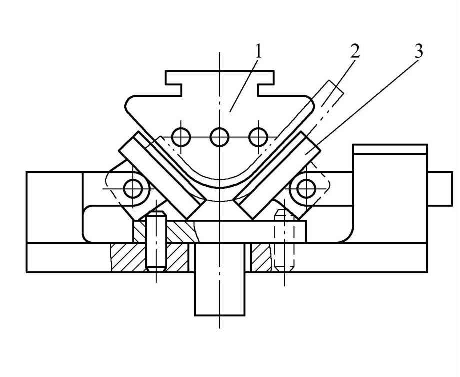


图 4-10　压弯原理图

1—凸模　2—管坯　3—摆动凹模

（2）拉弯　拉弯是将管材压靠在固定的凸模上，对管材两端同时施加轴向拉力 F 和弯矩，使管材沿着凸模成形的方法，如图 4-11 所示。在一般的拉弯成形中最大弯曲角约 180°。拉弯时管材在弯曲的同时被施加轴向拉力用以克服内侧的起皱及改善截面内的应力分布，减少回弹，提高外形精度。和其他弯曲工艺相比，拉弯成形具有如下特点：

1）能成形空间结构复杂的型材零件。

2）能成形屈强比大的型材弯曲零件。

3）弯曲精度高，回弹小。

4）可有效消除弯管材料内部的残余应力，产品尺寸稳定性好。

5）由于金属材料的冷作硬化，材料经拉弯后，可改善材料的综合机械性能。

但是，拉弯法难以维持弯曲毛坯的截面形状，主要适用于有受力支撑部位的开口截面型材，该方法不适合成形薄壁管材。

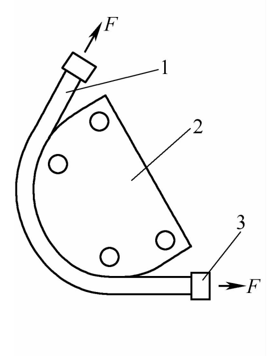


图 4-11　拉弯原理图

1—管件　2—固定弯曲板

3—固定模

（3）推弯　推弯是将需弯曲的管材先放置于弯曲模具的

导套内，在凸模的推力作用下，管材毛坯处于压应力状态，在经过凹模的过程中，被弯曲成所要求的曲率形状，如图4-12所示。推弯是在一般压力机、液压机或专用推制机上进行的弯曲加工，主要用于弯制弯头。但是推弯的方法由于需全部通过弯曲凹模，因此这种方法不能制造有直线段的弯头，同时对于弯曲半径较小的弯曲管材也不适用。

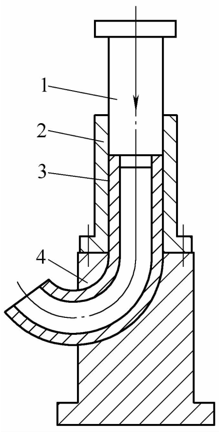


图4-12　型模式冷推弯管原理图
1—压柱　2—导向套　3—管坯
4—弯曲型模

根据推弯工艺特点，又可分为型模式冷推弯管和芯棒式热推弯管两种。型模式冷推弯管是在常温下将管坯压入带有弯曲空腔的型模中，从而形成管弯头。芯棒式热推弯管是在推力和牛角芯棒阻力的作用下，边加热边推制，使管坯产生周向扩张和轴向弯曲变形，从而将较小直径的管坯推制成较大直径的弯头，工作原理如图4-13所示。

（4）绕弯　绕弯是活动压模绕固定弯曲模回转以进行弯曲的一种加工形式，分为压缩方式和拉伸方式，如图4-14所示。两种方式的主要区别是凸模是否与管材一起转动。凸模不与管材一起转动的是压缩方式，反之是拉伸方式。该方法截面畸变相对较大，同样不适合成形薄壁管材。

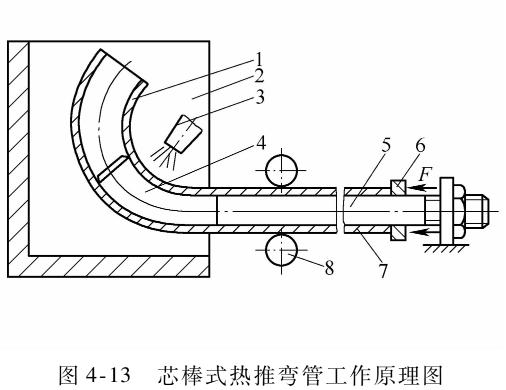


图4-13　芯棒式热推弯管工作原理图
1—弯头　2—反射加热炉　3—热源　4—牛角芯棒
5—芯杆　6—推板　7—管坯　8—支承器

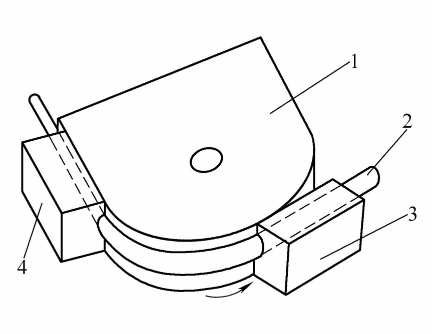


图4-14　绕弯原理图
1—固定凸模　2—管件　3—回转凹模
4—加紧凹模

绕弯分为手工弯管和弯管机弯管。

手工弯管是利用简单弯管装置对管坯进行弯曲加工。根据弯管时是否加热，可分为冷弯和热弯两种。一般小直径（管坯直径$D \leqslant 25$mm）管坯，由于弯曲力矩较小，采用冷弯；而加大直径的管坯多采用热弯。手工弯管不需要专用的弯管设备，弯管装置制造成本低，调节使用也方便，故适用于没有专用弯管设备的小批量生产中。缺点是劳动量大，生产率低。

弯管机弯管是在立式或卧式弯管机上进行弯曲加工的。根据其工艺特点，又可分为有芯弯管、无芯弯管和顶压弯管三种。由于弯管机弯管时是在冷态下进行的，因此这类弯管机又叫冷弯管机。弯管机弯管时管坯内不装填料，而是采用芯棒或不用芯棒对管坯进行弯曲，生产效率高，弯管质量好，故广泛用于大批量生产的场合。

（5）滚弯　滚弯是用三个或四个驱动辊轮对管材进行弯曲加工，如图 4-15 所示。滚弯方法工作原理与板材滚弯基本相同，区别仅在于管材滚弯所用的辊轮具有与弯曲管坯断面形状相吻合的工作表面。通过改变辊轮之间的间隔，就可作任意曲率半径的弯曲。滚弯方法对弯曲半径有一定限制，仅适用于曲率半径要求大的厚壁管件，尤其对弯制环形或螺旋线形弯管件特别方便。

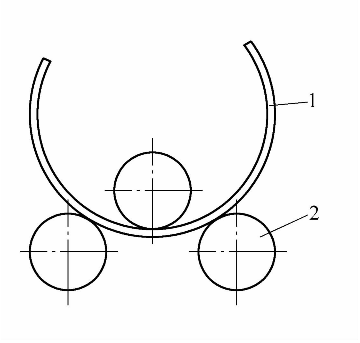


图 4-15　滚弯原理图
1—弯曲件　2—驱动辊轮

2. 按有、无模具分类

（1）有模弯曲　刚性模具直接作用于管材毛坯的弯曲变形区进行的弯曲，包括常见的压弯、拉弯、推弯、绕弯、滚弯等，特点是可重复性高且速度快，为提高弯曲精度，通常要利用调整刚性模具工作部分形状和尺寸来补偿制件卸载后发生的回弹，其补偿量难以精确计算，往往需要由经验来确定。

（2）无模弯曲：弯曲变形区不受到刚性模具的直接作用，管材最终形状由工具和工件的相对运动决定的弯曲。激光弯曲弯曲成形就属于无模弯曲。

3. 按是否加热分类

（1）冷弯　冷弯是指管材在室温下借助机械力使管材产生弯曲的加工工艺。由于冷弯时金属产生加工硬化，所以冷弯后的金属管要比热弯后的金属管硬得多，但是冷弯不会破坏金属原来的性质。冷弯后可以不用清洗和除去氧化皮，并且不会发生热变形。冷弯与热弯相比，冷弯需要消耗更多的弯管功率，且回弹和残余应力都有较明显的增大。而且冷弯不能弯制曲率半径很小的急转弯头。

（2）热弯　把管件加热至该管件的规定弯曲温度时再使管件弯曲的加工工艺。热弯具有冷弯不能比拟的适应性。例如，在一根管子上两相邻弯头之间直线距离可留得很小，甚至能不留直管段间隔进行连续弯曲；能将冷延性很差的材料加工成弯头；能加工冷弯时需花费较大机械能的弯头，并能将冷弯时管子易破裂的脆性材料弯曲成形。热弯可以在管子上弯成小半径弯头。对于碳素钢管和大多数的合金钢管，热弯的弯曲半径要比冷弯小得多，弯曲半径可小到管子外径的 0.7～1.5 倍。但是热弯存在如下缺点：设备复杂、加工成本高、生产效率低和表面粗糙度值高。对于铜管来说采用冷弯工艺，由于免除了高温加热，根除了产生“氢病”的可能性。

4. CNC 数控弯管工艺的分类

以一拖公司的 CNC 数控弯管工艺为例，采用弯管设备为 CNC 数控弯管机，数控弯管采用的弯管工艺为冷弯弯管，冷弯弯管根据数控弯管机成形原理分为拉弯弯管和推弯弯管。

拉弯弯管成形原理：在轮模前端夹持管件的拉力 F 的作用下使管件随着一定半径的轮模旋转并使管子缠绕在模具上弯制成形，如图 4-16 所示。拉弯与行业上弯管的绕弯相似。

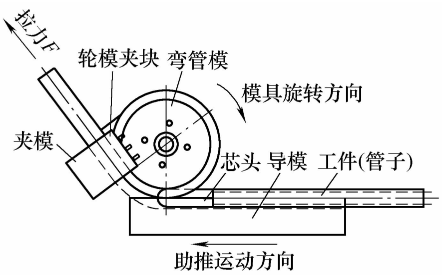


图 4-16　拉弯弯管成形原理图

推弯弯管成形原理：在管件后方施加的推力 F 的作用下利用机头曲臂定位角度使管子成形并决定圆弧曲率半径的大小，如图 4-17 所示。推弯与行业上弯管的滚弯相似。

弯管成形方式选择的依据如下：

拉弯弯管：在 $2.5 \leqslant R_s \leqslant 6$ 的条件下采用拉弯弯制成形。

推弯弯管：在 $R_s \geqslant 6$ 的条件下采用推弯弯制成形。

注：$R_s = R/D$

式中　R——弯制管件中性层半径；

D——弯制方向管径（见图 4-18）。

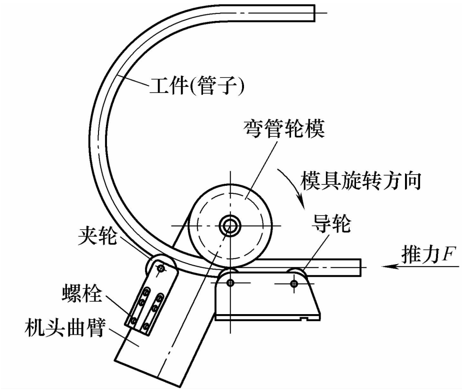


图 4-17　推弯弯管成形原理图

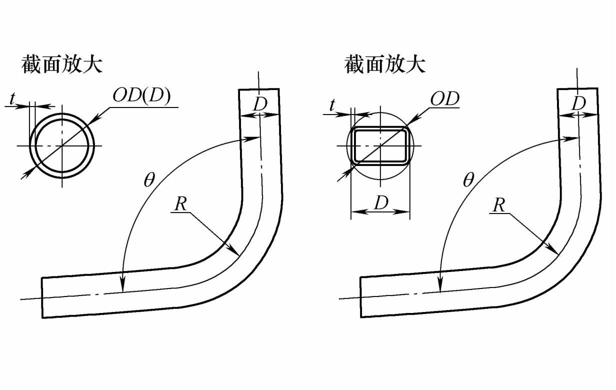


图 4-18　圆管和方管的弯曲

4.3.3　管材弯曲成形缺陷分析和防止措施

型材弯曲成形与板材弯曲在受力及变形方面有很多共同点，因此板材弯曲成形中存在的问题如回弹等，在型材弯曲中同样存在。同时，由于型材具有一定的截面形状，从而产生许多在板料弯曲成形中没有的问题，这些缺陷主要表现在：a）回弹；b）起皱；c）破裂；d）截面畸变；e）扭转；f）塌陷等。具体形式如图 4-19 所示。这里仅就其中一些主要缺陷及其成因和防止方法作一介绍。

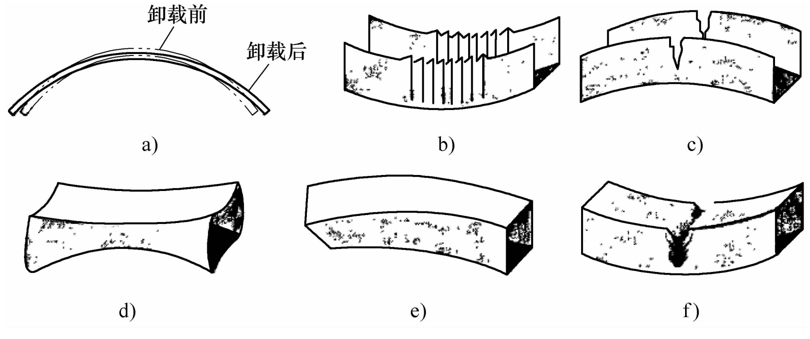


图 4-19　弯曲过程中容易出现的外观上的缺陷

a）回弹　b）起皱　c）破裂　d）截面畸变　e）扭转　f）塌陷

1. 回弹

关于回弹的问题在 4.4.4 节中已经做了详细介绍，在此不再重复。

2. 起皱

当型材截面较大、工艺参数设置不合理时，型材弯曲成形后会在内侧壁出现起皱现象。出现起皱的原因是在型材弯曲过程中，中性层以下部分受到纵向压应力作用，径向和宽度方向也受到压应力作用，在三向压应力作用下，容易产生纵向收缩、径向增厚的变形，严重时会造成起皱。

在拉弯成形中，如果在弯曲前对型材施加足够的预拉力，可以避免起皱的发生。另外，还可以在弯曲后增加补拉力，也可以达到消除起皱的效果。另外在模具方面可采用增设限位槽，使用芯模等措施来防止起皱的产生。

许多学者对此问题进行了研究。研究表明矩形截面型材宽度与厚度的比值（b/t）和型材宽度是影响起皱发生的主要因素，材料性能对起皱的影响也比较明显。另外，贾俐俐和高锦张指出：型材内侧腹板起皱失稳与薄壁壳体两端受压失稳相似，不仅与压应力大小有关，而且与型材厚度与宽度比值大小有关，比值越小，越容易发生起皱失稳；增加型材内侧腹板的厚度，可以提高其抗皱能力。北京航空航天大学的周贤宾等人指出内壁起皱与弯曲半径、材料性能、截面形状等多种因素有关，可通过调整预拉伸量有效地加以控制。目前的研究结果为消除起皱提供了一些基本的方法。但型材截面形状多样，起皱现象复杂，还需要进一步深入研究。

3. 破裂

在弯曲半径太小，或者为减小回弹防止内壁起皱而增加附加的切向拉力等情况下，型材截面尤其是外侧壁处存在较大的拉伸应力，从而使外侧面壁厚出现过度减薄，甚至破裂。当型材截面较高，弯曲半径较小时，现象更为严重。在型材弯曲成形过程中，外侧壁减薄破裂是型材弯曲成形极限的表现形式之一。

对于弯曲时外侧壁减薄破裂的问题，主要的措施是对管材退火，降低硬度。同时严格控制管子表面质量；调整助推速度或者旋转速度；检查芯轴尺寸或者位置是否合适；检查夹模和压模表面是否有油，清洁表面；检查压模与防皱模、轮模间隙是否合适，适当调整；检查压模和夹模压力是否合适，适当调整。

4. 截面畸变和管壁内侧起皱

如图 4-20 所示，在纯弯曲的情况下，外径为 D、壁厚为 t 的管子受外力矩 M 的作用发生弯曲时，中性层外侧的管壁受拉伸应力 σ_1 的作用而减薄，内侧管壁受压应力 σ_2 的作用而增厚（见图 4-21a）。因位于弯曲变形区最外侧和最内侧的材料受切向应力最大，故其管壁厚度的变化也最大（见图 4-21）。在有填充物或芯棒的弯曲中，截面基本上能保持圆形，但壁厚产生了变化，在无支撑的自由弯曲中，不论是内沿还是外侧圆管截面变成了椭圆（见图 4-21b），且当弯曲变形程度变大（即弯曲半径减小）时，内沿由于失稳而起皱；方管在有支撑的弯曲（见图 4-21c、d）中，截面变成梯形。内侧管壁在 σ_2 的作用下还可能出现失稳而起皱（见图 4-19c）。

（1）圆管截面畸变　关于圆管截面的变化情况，在生产中常用椭圆率来衡量。

$$\text{椭圆率} = \frac{D_{max} - D_{min}}{D} \times 100\% \tag{4-1}$$

式中　D_{max}——弯曲后管材同一横截面的任意方向测得的最大外径尺寸；

D_{min}——弯曲后管材同一横截面的任意方向测得的最小外径尺寸。

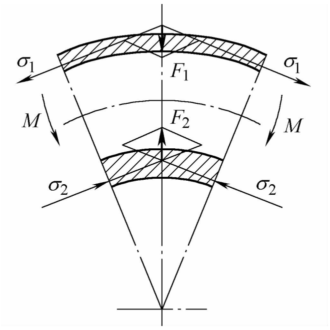


图 4-20　管材弯曲时的受力

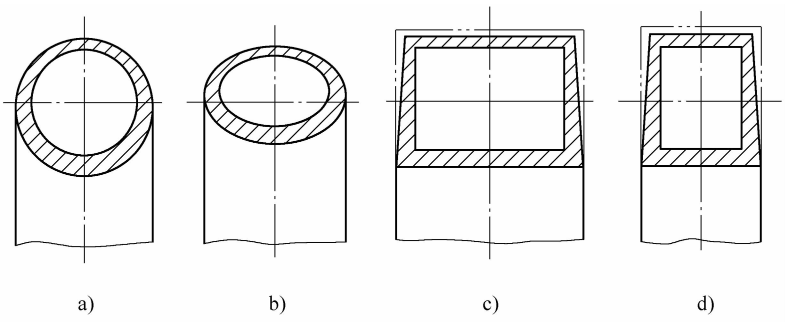


图 4-21　管材弯曲时的截面畸变

图 4-22 所示是椭圆率线图，这是把椭圆率对应于无量纲曲率 R_0/R（R_0 为管外半径，R 为弯曲断面中心层曲率半径）的变化表示在对数坐标上，以比值 t/R_0 为参变量的直线族来表示的。由图可知，弯曲程度越大，截面椭圆率也越大，因此，生产中常用椭圆率作为检验弯管质量的一项重要指标，根据管材弯曲件的使用性能不同，对其椭圆率的要求也不相同。例如用于工业管道工程中的弯管件，高压管不超过 5%；中、低压管为 8%；铝管 为 9%；铜合金、铝合金管为 8%。在农业机械中的弯管件，椭圆率不超过 5%。

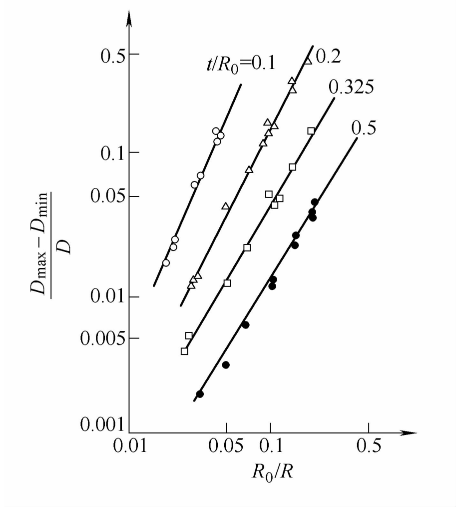


图 4-22　椭圆率

截面形状的畸变可能引起断面面积的减小，增大流体流动的阻力，也会影响管件在结构中的功能效果。因此，在管件的弯曲加工中，必须采取措施将畸变量控制在要求的范围内。目前消除或者减少畸变量的方法，主要有两个方面，一是根据型材零件结构、工艺性确定型材截面形状；二是生产过程中对型材进行支撑（加芯棒或者填充物体），增加型材截面的刚度。

1）在弯曲变形区用芯棒支撑断面，以防止断面畸变。

2）在弯曲管坯内充填颗粒状的介质、流体介质、弹性介质或熔点低的合金等，也可以代替芯棒，防止断面形状畸变的作用。这种方法应用较为容易，也比较广泛，多用于中小批量的生产。

3）在与管材接触的模具表面，按管材的截面形状，做成与之吻合的沟槽减小接触面上的压力，阻碍断面的歪扭，是一个相当有效的防止断面形状畸变的措施。

4）利用反变形法控制管材截面变化（见图 4-24），这种方法常用于在弯管机上的无芯弯管工艺，其特点是结构简单，所以应用广泛。

采用反变形法进行无芯弯管（见图 4-23），即是管坯在预先给定以一定量的反向变形，则在弯曲后，由于不同方向变形的相互抵消，使管坯截面基本上保持圆形，以满足椭圆度的要求，从而保证弯管质量。

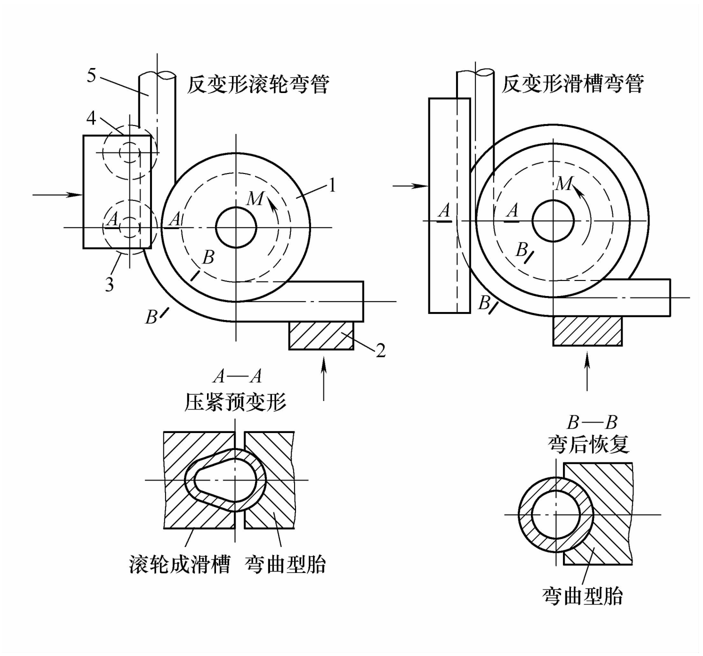


图 4-23　无芯弯管示意图

1—弯曲模胎　2—夹持块　3—辊轮　4—导向轮　5—管坯

反变形槽断面形状如图 4-24 所示，反变形槽尺寸与相对弯曲半径 R/D（R 为中心层曲率半径，D 为管材外径）有关。反变形槽的尺寸见表 4-5。

表 4-5　反变形槽的尺寸

相对弯曲半径 R/D	R_1	R_2	R_3	H
1.5～2	0.5D	0.95D	0.37D	0.56D
>2～3.5	0.5D	1.0D	0.4D	0.545D
≥3.5	0.5D	—	0.5D	0.5D

（2）管材厚度变化　管材厚度的变化，主要取决于管材的相对弯曲半径 R/D 和相对厚度 t/D。在生产中，弯曲外侧的最小壁厚 t_{min} 和内侧的最大壁厚 t_{max}，通常可用式（4-2）、式（4-3）作估算

$$t_{min}=t\left(1-\frac{1-t/D}{2R/D}\right) \tag{4-2}$$

$$t_{max}=t\left(1+\frac{1-t/D}{2R/D}\right) \tag{4-3}$$

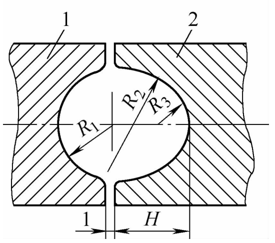


图 4-24　反变形槽

1—弯曲模胎　2—反变形辊轮

式中　t——管材原始厚度（mm）；

D——管材外径（mm）；

R——中心层弯曲半径（mm）。

管材厚度变薄，降低了管件的机械强度和使用性能，因此，生产上常用壁厚减薄率作为衡量壁厚变化大小的技术指标，以满足管件的使用性能。

$$管壁的减薄率 = \frac{t - t_{min}}{t} \times 100\% \quad (4\text{-}4)$$

式中 t——管材原始厚度（mm）；

t_{min}——管材弯曲后最小壁厚（mm）。

管材的使用性能不同，对壁厚减薄率也有不同的要求。如用于工业管道工程的管件，对高压管不超过 10%；对中、低压管不超过 15%，且不小于设计计算壁厚。在农业机械中的弯管件，圆管壁厚减薄率一般要求不超过 5%。

减小管材厚度变薄的措施有：

1）降低中性层外侧产生拉伸变形部位拉伸应力的数值。例如采取电阻局部加热的方法，降低中性层内侧金属材料的变形抗力，使变形更多地集中在受压部分，达到降低受拉部分应力水平的目的。

2）改变变形区的应力状态，增加压应力的成分。例如改绕弯为推弯，可以大幅度地从根本上克服管壁过渡变薄的缺陷。

4.3.4 弯管成形工艺中回弹、伸长和成形半径

1. 弯曲回弹

管材弯曲与任何一种塑性变形一样，都伴随有弹性变形，当载荷卸去后，弯曲中性层外侧的纤维因弹性回复而缩短，内侧纤维因弹性回复而伸长，故使弯曲率和弯曲角发生变化，这种现象称为回弹。回弹的表现形式有两种，如图 4-25 所示。

1）曲率减小。曲率由卸载前的 $1/\rho_0$ 减小至卸载后的 $1/\rho_0'$。

2）弯曲角减小。弯曲角由卸载前的 α 减小至卸载后的 α_0。

回弹量的大小可以用曲率变化量 ΔK 或弯曲角变化量 $\Delta\alpha$（也叫回弹角）计算。

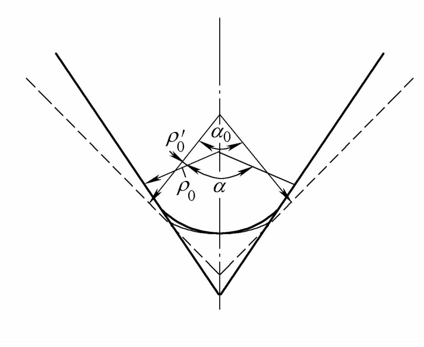


图 4-25 零件弯曲卸载前后尺寸变化

$$\Delta K = \frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0'} \quad (4\text{-}5)$$

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 \quad (4\text{-}6)$$

（1）影响弯曲回弹的因素 在弯曲过程中，影响回弹量的因素很多，主要影响因素有以下几个：

1）毛坯的机械性能。σ_s/E 值越小，即 σ_s 越小，E 值越大，则回弹值 $\Delta\alpha$ 越小。

2）变形程度 r/t。在其相同的条件下，r/t 越小，则弯曲变形程度越大，总变形中弹性变形所占的比例降低，所以弯曲回弹减小。

3）弯曲中心角 α。弯曲中心角 α 越大，变形区的长度增大，在相同的变形条件下，单位长度上的变形量减小，所以，弯曲角 α 越大，则在总变形中弹性变形所占比例会相应增大，回弹值 $\Delta\alpha$ 越大。

4）模具间隙 Z。模具间隙大，回弹量大。

5）弯曲方式。拉弯工艺回弹量小，推弯工艺回弹量最小。

6）工件形状及材料组织状态。形状复杂，相互牵扯多回弹量小，冷作硬化后回弹量大。

7）模具结构及压边力大小。压边力大，工件弯后回弹量小。

（2）回弹值的确定　确定工件的回弹值，是为了采取相应的措施来克服回弹，以使弯曲工件达到设计图样要求的精度。确定回弹值的方法有查图法、查表法和计算法。在实际的弯曲成形中由于存在着截面畸变、起皱问题，这类问题均会对回弹产生影响；另一方面，型材的弯曲过程中中性层难以准确确定，从而使回弹的计算变得更加困难，型材弯曲回弹比板材弯曲回弹复杂得多，所以管材弯曲回弹计算的这些方法都是近似的，与实际情况存在较大的差异。目前，不论国内还是国外，对回弹的研究仍在继续。由于回弹涉及的因素多，较为复杂，目前还没有一个精确的计算公式。故对于回弹值的控制一般均是用不同结构的模具来修正，主要是在试模中予以修正的。

（3）减小和防止回弹的方法　减小和防止回弹的方法从原理上看可分为两大类。第一类方法以增大变形来保证回弹后的零件形状。这类方法的主要措施是修正模具的形状，减小零件的弯曲曲率或增大弯曲角，从而使回弹后的零件符合设计要求。另一类方法是通过改变弯曲变形零件的应力分布来减小回弹。在这类方法中最常用的措施是施加切向拉伸应力，使弯曲件截面上的应力分布趋于一致，从而减小卸载时弹性回复的不均匀性，使回弹量减低。弯曲成形的回弹是影响零件尺寸精度和生产效率的主要因素之一。由于回弹的预测与整个成形过程密切相关，所以回弹问题相当复杂，是型材拉弯成形研究的热点和难点，国内外许多学者进行了深入的研究和探讨。

目前关于管材弯曲回弹问题的处理方法有以下几种：

1）根据经验列出回弹数据表。如国内几家船厂从美国 WALLACE COAST 公司购进的数控弯管机即是在控制系统中设置经验数据供回弹补偿使用。但因该方法误差较大，故数控弯管机的弯管成形精度并不理想。

2）用理论计算方法。由于弯管时受力情况非常复杂，计算时需作假设和简化，且材料性质和实际工况难以预计，所以，目前尚未发现有关回弹理论计算公式在实际使用中成功的先例，尚有待进一步探讨。

3）在飞机、汽车制造业中，多年来一直采用以美国 EATON LEONARD 公司为代表使用的方法。该方法认为，虽然影响弯管回弹的因素很多，但是机床调整好后工艺参数（弯曲半径、弯曲速度、夹紧力等）已经确定，而且此时又是在弯制某批材料管子的情况下测定弯曲角度与回弹后的成形角关系，因而可以把弯管机臂的转角和管子的成形角看成线性关系。其办法是在弯管机上按 125°、22°弯曲管子，管子弯好后放在数控管形测量机上测出其实际成形角为 120°、20°，建立过两点的直线方程便可获得弯管机臂的转角与管子所需成形角之间的关系。该方法使用效果较好。

为解决好管材弯曲的回弹问题，开展了以下工作：

1）进行了大量回弹实验。通过在多台弯管机上进行多种规格的无芯和有芯弯管实验，并对测取的数据进行回归分析计算可知，其弯曲角 α 与成形角 α_0之间呈直线变化规律，与理论计算的直线规律相符合，不同的是，该直线不通过坐标原点，存在一节距 C_1，如图 4-26所示。即

$$\alpha = K_1 \alpha_0 + C_1 \tag{4-7}$$

式中　K_1——直线斜率；

　　　C_1——直线截距。

由式（4-7）可以得出以下结论：同批材料弯出的管子，在工程弯曲角度范围内，其弯曲角 α 与成形角 α_0之间均呈不过原点的直线关系。

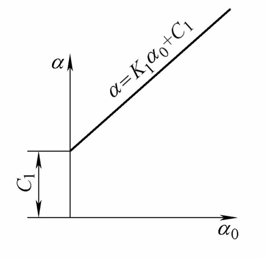


图 4-26　弯曲角 α 与成形角 α_0之间

2）弯管回弹实验的理论分析。为了分析回弹实验结论的正确性，针对弯管机的工况进行了受力分析，在作了一些假设与简化后进行了大量计算。计算结果表明，在较小的弯曲角范围内，弯曲角 α 与成形角 α_0之间呈曲线关系，在弯曲角度大于 1°以后，弯曲角 α 与成形角 α_0之间均呈线性关系，并与实验时的直线关系规律趋势相同，由此说明了回弹实验结论的正确性。应当指出的是，两者之间的数值相差较大，这是由于理论计算的假设与简化以及实际弯管工况比计算情况复杂得多等原因造成的。

由此可见，上述工作比以 EATON LEONARD 公司为代表使用的“把弯管机臂的转角和管子的弯曲角度看成线性关系”的研究成果更加深入。

综上所述，目前处理管材弯曲回弹问题的最好方法是：弯曲加工某批管材时，可在给定的弯管机上做两个不同弯头（例如 30°和 90°）的实验。实验时记录弯管机臂的两个实际转角 α_1、α_2，并测量管子的两个成形角 α_{01}、α_{02}。然后按式（4-8）、式（4-9）求取式（4-7）的系数。

$$K_1=(\alpha_2-\alpha_2)/(\alpha_{02}-\alpha_{01}) \tag{4-8}$$

$$C_1=\alpha_1-\alpha_1(\alpha_2-\alpha_2)/(\alpha_{02}-\alpha_{01}) \tag{4-9}$$

将式（4-8）、式（4-9）代入式（4-7）得到的直线方程式，即该批管材的回弹规律。

2. 弯曲伸长

一定长度的管子在弯管机上弯曲后，管子的轴线长度会增大，这种现象称为弯曲伸长。轴线长度增大量称为管子的伸长量。弯曲伸长会影响零件的尺寸精度，对于这个问题，过去解决的方法有：

1）根据经验列出了伸长数据表供生产使用，但使用该方法时误差较大。

2）有关弯管伸长理论的计算方法。与回弹一样，目前尚未发现有理论计算公式在实际中使用成功的先例，尚待进一步探讨。

3）在飞机、汽车制造业中，多年来一直采用一种以 EATON LEONARD 公司为代表使用的方法，即在用数控管形测量机测量回弹的同时，用计算公式计算出所谓的圆弧常数，也就是弯曲角度为 100°时所用的材料长度，其结果也是认为管子伸长量与成形角度成正比关系。

为解决好管材弯曲的伸长问题，开展了以下工作：

1）进行了大量伸长实验。通过在五个船厂的多台弯管机上进行多种规格的无芯和有芯弯管实验，并对每一批材料取得的数据进行回归分析计算可知，其伸长量 ΔL 与成形角 α'之间均呈不过原点的直线关系。即：

$$\Delta L=K_2\alpha'+C_2 \tag{4-10}$$

式中　K_2——直线斜率；

　　　C_2——直线截距。

经对测取的数据进行回归分析计算，其相关系数 γ 均在 0.97 ~ 0.99 之间，可见其直线

关系明显。因此可获得以下结论：同批材料的管子，在工程弯曲角度范围内，其伸长量 ΔL 与成形角 α'之间均呈不过原点的直线关系。

2）对有关船厂的经验回弹数据表也进行了数据回归验算。

经验算可知，其伸长量 ΔL 与成形角 α'之间也呈直线关系，其相关系数 γ 均在 0.99 以上，可见其直线性也很高，但是截距一般较小。

3）弯管伸长实验的理论分析。

为了进一步证明伸长实验结论的正确性，针对弯管机的弯管工况进行了受力分析，在作了一些假设与简化后进行了大量计算。计算结果表明，在小弯曲角度范围内，其伸长量 ΔL 与成形角 α'之间呈曲线关系；在弯曲角度大于 3°以后，其伸长量 ΔL 与成形角 α'之间均呈线性关系。理论分析的线性关系部分与实验时的直线关系规律趋势相同，说明了弯管伸长实验结论的正确性。应当指出的是，两者之间的数值相差较大，这是由于理论计算的假设与简化以及实际弯管工况比计算情况复杂得多等原因造成的。以上研究的同批材料的管子在工程弯曲角度范围内，其伸长量 ΔL 与成形角 α'之间均呈不过原点的直线关系的结论与历来认为的伸长量与成形角成正比的观点不同，前者更加符合弯管机弯管的实际情况。

综上所述可知，目前管材弯曲伸长问题的最好处理方法应是：弯曲加工某批管材时，可在给定的弯管机上作两个试件长度 L 相同、弯头不同（例如 30°和 90°）的弯曲实验，实验后取下管子并测量好管子的两个实际成形角 α_1'、α_2'和两个实际管子轴线增加后的长度 L_1'、L_2'，则其伸长量为

$$\Delta L_1 = (L_1' - L) \quad \Delta L_2 = (L_2' - L)$$

由此即可用式（4-11）、式（4-12）求出直线方程式（4-10）的系数。

$$K_2 = (\Delta L_2 - \Delta L_1)/(\alpha_2' - \alpha_1') \tag{4-11}$$

$$C_2 = \Delta L_1 - \alpha_1'(\Delta L_2 - \Delta L_1)/(\alpha_2' - \alpha_1') \tag{4-12}$$

将式（4-11）、式（4-12）代入直线方程式（4-10）即得该批管材的伸长规律。使用智能弯管测量仪能方便地获得该伸长规律。

3. 管子弯曲回弹后成形半径问题的处理方法

管材弯曲回弹后，其成形半径 R'较模具半径 R 变大，这样就会引起管子切点的变化。因此，弯管机弯管时应考虑由此引起的起弯点的变化。以 EATON LEONARD 公司为代表使用的方法是，利用数控管形测量机测出回弹的有关参数，再用计算公式计算出回弹后的成形半径，并使用此计算半径对起弯点进行修正。在使用该公式处理起弯点，发现在弯曲小规格（如 <3mm 以下）的管子时，误差虽然较大，但尚可使用；在弯曲较大规格的管子时，误差就特别大，使用效果不好。其同样是由于弯管时情况非常复杂以及材料性质和实际工况难以预计等原因，致使成形半径的理论计算公式难以满足实际需要造成的。

如果起弯点处理不好，则弯管成形精度难以保证，实施无余量弯管工艺时就会发生困难。为了解决这个问题，应该使用现代化测量仪器。以某弯管机为对象，实际测出某批管材弯曲回弹后的成形半径，作为工艺上处理起弯点的依据。使用智能弯管测量仪能方便地获得管材弯曲回弹后的成形半径，其测量计算原理见后文的计算公式（4-13）。

4. 使用智能弯管测量仪测取回弹、伸长和成形半径的方法

智能弯管测量仪主要是根据上述弯管原理，专门为数控弯管机研制的配套使用仪器。仪

器组成有测量装置（包括测量机构、角度传感器）、微机系统（包括微机、接口板）。仪器精度较高，角度为0.1°，长度为0.25mm。仪器测量机构是如图4-27所示的一个四杆平面机构，节点 a、b、c 上各装有一个角度传感器，用它们可测出相邻两杆之间的角度。d、e 处为测头，由于测头为平面，所以测量时可使 ad、be 杆均与 $dghe$ 管子的直管段垂直。四杆平面机构的各杆长度均为已知，这样便可测量计算出 $dghe$ 管子的有关几何参数。方法如下：

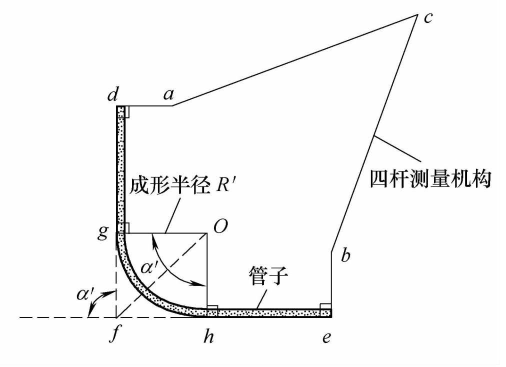


图4-27　仪器测量机构图

1）根据机构的已知条件和角度传感器测出的角度可测算出管子成形角度 α'。

2）根据机构的已知条件和角度传感器测出的角度可测算出直管轴线交点距离 df、fe。

3）当已知管件弯曲时的起弯点距离 dg 时，可进一步测算出实际成形半径 R' 为

$$R' = Og = (df - dg)/\tan(\alpha'/2) \tag{4-13}$$

4）可进一步测算出管子轴线长度 L' 为

$$L' = df + fe - 2R'\tan(\alpha'/2) + \pi R'\alpha'/180 \tag{4-14}$$

根据上述原理和算式，只需将两个相同长度为 L、起弯点距离分别为 d 和 g 的试件在弯管机上按预定角度（$H_1 = 30°$、$H = 90°$）进行弯曲，然后取下用智能弯管测量仪进行测量，就能自动完成实际测量并打印出不同金属材料与型号管子的回弹变化规律、伸长变化规律和回弹后的成形半径。如给出工件管形，仪器还可以提供无余量弯管的下料数据，而且能为数控弯管机提供包括起弯点修正和回弹补偿的加工程序（该仪器也具有测量管形的功能）。仪器所提供的数据，不仅大大提高了数控弯管机弯管的成形精度，而且可促进工艺进步，达到减轻工人劳动强度、节约钢材和提高生产效率的目的。

5. 弯曲半径

管材的弯曲变形程度，取决于相对弯曲半径 R/D 和相对厚度 t/D（R 为管材断面中心层曲率半径，D 为管材外径，t 为管材壁厚）的数值大小，R/D 和 t/D 值越小，表示弯曲变形程度越大，弯曲中性层的外侧管壁会产生过度变薄，甚至导致破裂；最内侧管壁则增厚，甚至失稳起皱。同时，随着变形程度的增加，断面畸变（扁化）也会越加严重。因此，为保证管材的成形质量，必须控制变形程度在许可的范围内。管材弯曲的允许变形程度，称为弯曲成形极限。管材的弯曲成形极限不仅取决于材料的力学性能及弯曲方法，而且还应考虑管件的使用要求。

对于一般用途的弯曲件，只要求管材弯曲变形区外侧断面上离中性层最远的位置所产生的最大伸长应变 ε_{max} 不致超过材料塑性所允许的极限值作为定义成形极限的条件。即在管件弯曲变形区外侧的外表层保证不裂的情况下，以能弯成零件的内侧的极限弯曲半径 r_{min}，作为管件弯曲的成形极限。r_{min} 与材料力学性能、管件结构尺寸、弯曲加工方法等因素有关。

不同弯曲加工方式的最小弯曲半径见表4-6。

表 4-6　管材弯曲时的最小弯曲半径　　（单位：mm）

弯曲方法	最小弯曲半径 r_{min}	弯曲方法	最小弯曲半径 r_{min}
压弯	$(3\sim5)D$	滚弯	$6D$
绕弯	$(2\sim2.5)D$	推弯	$(2.5\sim3)D$

注：D 为管材外径。

钢管和铝管的最小弯曲半径见表 4-7。

表 4-7　钢管和铝管的最小弯曲半径　　（单位：mm）

管材外径	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
最小弯曲半径 r_{min}	8	12	16	20	28	32	40	45	50	56
管材外径	24	28	30	32	35	38	40	44	48	50
最小弯曲半径 r_{min}	68	84	90	96	105	114	120	132	144	150

4.3.5　CNC 弯管和编程

传统的弯管是采用成套弯曲模具进行弯曲的。弯管的步骤如下：

1）留出第 1 段直线段长度，并夹紧管子，如图 4-28 所示。

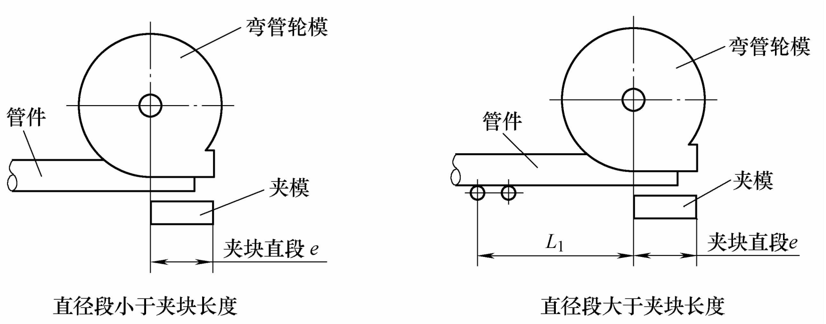


图 4-28　管件夹持示意图

2）弯曲。

3）松开模具，取出管子，使模具复位。按管形标准样件在检验夹具上检查管形，并校正。

4）按需要的形状，把管子放在模具内，并夹紧。

5）弯曲。

6）重复第 3 步，直至弯完管子为止。

传统的弯管工艺都是按定型投产后的型管（或管型）标准样件在弯曲夹具或弯管机上弯曲，在型面检验夹具上进行验收的。由于管子的弯曲角度、两相邻弯平面间的空间夹角以及两个弯之间的直线距离都不能进行直接测量或很难准确测量，再加上弯管过程中的回弹等一系列工艺和操作问题，在弯制管子时完全凭借操作者的经验和技术熟练程度，因此，每根管子在验收之前，大都要进行手工校正，而且难免会出现“反复”弯曲、“串弯”等现象。这样，不但弯管质量不易控制，生产效率很低，劳动强度很大，而且需要相当数量的导管标准样件、弯曲夹具和型面检验夹具。

对常规弯管工艺稍加分析，就不难看出，管子的弯制主要可以归结为三个基本动作，即

直线送进、空间转角、弯曲。当然，欲弯制一根管子，还需要一些弯管辅助动作，如夹模或压模的夹紧、松开，弯模的复位等。全部弯管动作就是这些简单机械动作的一定顺序的组合。

通过大量的实践活动，人们已经掌握了弯管的动作规律，因此有可能把这些简单的动作按一定顺序连贯起来，并加以控制，实现弯管机械化、自动化。

采用数控技术，不但可使导管的弯曲质量有了可靠的保证，而且生产效率也大大提高，从而改变了手工弯管的落后面貌。但是，由于管件的空间几何形状很复杂，很难用设计图样把它准确地表达出来；而且对管形标准样件进行测量也相当困难，于是编辑“弯管程序”已成为当前采用数控技术弯管要解决的新问题。目前，只能通过“逐个弯试弯→初记数据→试弯整个管形→修正数据→最后确定数据”的办法来记录弯管程序。这样，不仅报废一定数量的管子，而且效率也很低。

为了寻求新的方法，加速编程，乃至采用计算机自动编程，提高目前的数控弯管水平，美国伊顿·伦纳德公司于七十年代研制生产了一种计算机控制数控（CNC）矢量弯管设备，近年来普遍为西方各航空发动机公司所采用。

1. 矢量弯管技术简介

以矢量理论为基础，把管形上的每个直线段的中心线看成一系列的空间矢量，利用矢量的基本概念和运算，精确地计算出“增量管形数据”，以控制矢量弯管机。弯制出的管子还可以进行自动检验，与标准管形数据相比较，算出“差值”，并用“差值”修正弯管程序，得出新的弯管程序，再去弯制下一根管件，这就是矢量弯管技术的基本特点。

（1）矢量的基本概念　所谓矢量，就是具有大小和方向的量。在几何中的有向线段就是一个直观的矢量。从两矢量相等的定义出发可以知道，将一矢量平行移动后，仍为与原来矢量相等的矢量。所以矢量的起点可以放在空间任何一点。

（2）矢量在弯管技术上的应用　除了螺旋形状和复合弯（即两弯之间无直线段）的特殊形状的管子外，在一般情况下，它都是由许多直线段和弯曲（圆弧）段所组成，并且直线段比圆弧段的数目多1。例如，一个有8个弯的管件就必定有8个圆弧段和9个直线段。而且管子的两端一定是直线段。

如果把管子放在空间坐标系中，并且管子上的直线段用其中心线表示，那么，管形即可由每段直线段中心线表示。相邻两中心线延长后产生了交点。相邻两相交点连线的距离和方向，就表示矢量的大小和方向。

将管形上的各直线段中心线以一系列的空间矢量来表示，求出它们的交点，进而求出“增量管形数据”，这就是矢量弯管的原始设想。

基于以上设想，美国伊顿·伦纳德公司制成了VECTOR 1管形测量机。

如果一个管子有8个弯，那么，使用VECTOR 1管形测量机测量管形时，测量点选择在9个直线段上任意一点（但两端的直线段需在端点处测量），而且每个直线段上只需测量一次。因而，依次测量9次便可算出通过各测点的管形直线段中心线的方向余弦。进而计算相邻两矢量的交点坐标数据，并存储在计算机的存储器内。也就是说，VECTOR 1管形测量机用a、b、c、…、j十个点的坐标数据来描述管形。

由于管形在空间的位置是比较复杂的，以若干点的坐标来描述管形，不易推想出管形的真实形状。况且，弯管机所使用的数据不是坐标点数据，而是“增量弯管数据”。因而，存

储在计算机存储器内的坐标点数据还必须通过一系列矢量运算，计算出弯管所需要的“增量管形数据”。

1）两管间的送进距离 DBB（Distance Between Bends）。它是端点到直线与圆弧的切点之间的距离或直线与两圆弧的切点之间的距离。对于弯管机来说，它是每一个弯之前的直线送进距离。

2）空间转角 POB（Plane Of Bend）。它是两个弯不在一个平面上，第二个弯所在的平面与第一个弯所在的平面的夹角。对于弯管机来说，它是夹持管子的夹头的旋转角度。夹头可作正向旋转运动，也可以作反向旋转运动。

3）弯曲角度 DOB（Degree Of Bend）。它是第二条直线段中心线相对于第一条直线段中心线的夹角。对于弯管机来说，它是弯臂的转出角度。

管形的每一个弯都有这三个数据。某一个弯的数据是依前一个弯的数据为基础而产生的，所以叫“增量管形数据”。这种数据产生以后，还要经回弹数据修正，才成为弯管程序，用以控制矢量弯管机进行弯管。

2. 矢量弯管过程

用测量机测出管形，取得必要的数据之后，还必须把管子弯出来。因此和 VECTOR 1 管形测量机配套的还有 VECTORBEND 弯管机，用这一台设备按测量所得数据弯制管子。所以矢量弯管技术的整个过程如下：

1）使用 VECTOR 1 管形测量机按管子标准样件测取（或按图样输入）管形数据，编辑、修改管形数据。

2）测取回弹数据，编制弯管程序。

3）使用 VECTORBEND 弯管机弯管。

4）使用 VERTOR 1 管形测量机进行自动检验，与标准样件管形数据相比较，算出差值，并用“差值”自动修正弯管程序。

5）再使用 VECTORBEND 弯管机弯出合格的管子。

本过程全由计算机控制（CNC）完成。这一过程中的第 1）步，测量管形数据也可以根据设计图样，把管子各个直线段交点和两端点的数据直接输入到计算机中去，以此来确定管子的形状。

3. 采用矢量弯管技术的意义

采用矢量弯管技术对于制造管件具有重要的意义。

（1）快速测取管形数据，按管形标准样件编程　如前所述，飞机及其发动机的导管的形状是很复杂的，它很难甚至不可能用设计图样把它表达出来。因此，在导管的加工过程中，许多导管的生产不是按照图样，而是按照导管（或管形）标准样件来制造，在型面检验夹具上进行验收。如果单纯地采用数控弯管，鉴于用通常办法测量管形数据很困难，即使测量出来，数据也不会准确，再加上影响回弹的因素很多，如管子的材料、直径、壁厚、弯曲半径和弯角大小等，都没有一定的规律。一系列的工艺问题，使得弯管程序的编制相当困难。这就只能通过“逐个弯试弯→初记数据→试弯整个管形→修正数据→最后确定数据”的办法来编辑弯管程序。

采用 VECTOR 1 管形测量机，这个问题便迎刃而解了。它通过对管形标准样件的测量，取得了管形数据，并经回弹修正后，自动编制 VECTORBEND 弯管机所需要的弯管程序。这

是一种“仿形”的方法，在实际生产中的用途很大。特别是对于形状复杂的管形来说，大量的、复杂的计算工作均由计算机来完成，这就解决了测取管形数据的难题，从而使管形的计算机编程成为可能，并极大地减轻了编程人员的计算工作量。

（2）快速综合检验管形　对于高质量、高效率的数控机床来说，如果没有与之相适应的快速检验的方法，势必造成检验时间比弯管所需的时间长得多，以致影响数控弯管机床的高效率，造成“窝工”的现象，这是很不合理的。VECTOR 1 管形测量机解决了这个问题。它具有高效率综合检验管形的能力（一般 7 ~ 8 个弯的管子，从装夹、固定管子开始算起，到测量完毕、打印输出管形数据，3 分钟以内可以完成），可对弯出的管子的形状进行快速检验，和对标准样件管形数据进行比较，确定误差值，并可打印出“检验报告单”。这就有利于提高零件批量生产时的快速检验工效，有利于实现检验自动化。同时，它还用“差值”自动修正弯管程序，得出新的弯管程序，再去弯管。这种用“差值”修正的弯管程序，提供了一个新的弯管程序，使弯出的管形总是逼近管形标准样件，它实际上是一种“自适应”控制。

（3）为弯管的设计-制造一体化创造了条件　矢量弯管技术是管子弯曲生产自动化的基础，也为导管的设计-制造一体化创造了必要的条件。美国麦克唐纳·道格拉斯飞机公司在导管的设计-制造一体化方面迈出了一步。它将 VECTOR 系统与设计部门的大型计算机相连接，根据生产部门的安排，VECTOR 系统接受存储在大型计算机存储器内的管形数据，并编制弯管程序，进行管子生产。

采用矢量弯管技术，从根本上改变了手工弯管的落后工艺面貌，使弯管技术面貌焕然一新。它提高了弯管精度，使产品质量稳定、可靠。对于形状复杂、手工弯管难以完成的棘手问题，可以比较容易地得到解决，其工效可提高几倍、几十倍。可以说，矢量弯管技术是弯管技术的一个重大突破。

（4）为管件研制、生产过程提供便利　VECTOR 1 管形测量机可以按图样输入“管形数据”，按管形标准样件测取管形数据或测量回弹数据，可以按需要编辑管形数据，如增加一个弯，撤销一个弯，移动一个弯，镜像、翻转管形数据；具有显示管形坐标数据、增量管形数据、回弹数据；存储和编制弯管程序等多种功能，其适应性强，操作简便，大大地缩短了生产准备周期，特别适应于新机研制过程中产品的形式和尺寸经常改变的需要。

而且，由于 VECTOR 1 管形测量机能够获得准确的标准样件管形数据，并可存储保存；而在弯管之前测取回弹数据，编制弯管程序；再加上自动检验-修正弯管程序，VECTOR-BEND 弯管机完全可以弯制出符合要求的管形。因此，从弯管的角度看，不需要保存大量的管形标准样件和型面检验夹具。这样，既降低了生产费用，又节省了车间庞大的占地面积。

4. CNC 矢量弯管数控弯管系统介绍

如上所述，美国伊顿·伦纳德公司生产的 CNC 矢量弯管系统共分两部分，即 VECTOR 1 管形测量机和 VECTORBEND（以下简称 VB）矢量数控弯管机。

VECTOR 1 管形测量机的功能有数十个，其主要功能是：测取管形标准样件管形数据，将若干点的坐标数据变成增量管形数据；用增量管形数据来控制 VB 弯管机进行弯管，在一般情况下是不行的，还必须考虑管子的回弹修正问题。在每批管子弯曲之前，用试验件在弯管机上做回弹试验，并在 VECTOR 1 管形测量机上进行测量，以确定回弹数据。而后修正增量管形数据，成为增量弯管程序，实现计算机编程。

VB 数控弯管机接受来自 VECTOR 1 管形测量机传送过来的增量弯管程序数据，并存储

在控制柜的计算机中。弯管机好像一个机械手，它按增量弯管程序数据和机床预定的弯管动作，将直管弯曲成所需要的形状。

下面对这套计算机控制的弯管系统作一些具体的介绍：

VECTOR 1 管形测量机由工作台、测量臂、计算机、打印机、管子固定支撑架等组成。

1）测量臂。带计算机的 VECTOR 1 管形测量机模仿人的手臂、手腕和手制成了测量臂。测量臂的五个肘节处装有反映臂旋转角度的器件——编码器。整个测量臂由臂Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和探头组成。臂Ⅰ是测量臂的立柱，它和坐标系统的 z 轴重合，并能绕 z 轴转动，其转角 A 由编码器 A 记录下来。臂Ⅱ绕肘节 B 摆动，摆动角 B 由 B 处的编码器记录下来。臂Ⅲ绕肘节 C 摆动，摆动角 C 由 C 处的编码器记录下来。臂Ⅳ上装有探头，它除了可绕肘节 E 摆动，摆动角 E 由 E 处的编码器记录下来外，还可绕臂Ⅲ的轴线转动，转动的角度 D 由 D 处的编码器记录下来。实际上，臂Ⅲ是由两段组成的，即下面的一段连同臂Ⅳ一起，可绕其臂Ⅲ轴线转动。结构上保证了臂Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的中心线在一个平面上，臂Ⅲ、Ⅳ和由探头所决定的被测管子直线段中心线也在一个平面上，并且臂Ⅳ与探头所决定的管子直线段中心线相垂直。

整个测量臂上的五个肘节，使得测量臂能在空间任意转动，这就保证了探头能够比较方便地测量空间任意矢量。同时，对于某一固定的测点来说，各肘节只有一个固定的转角，分别由五个编码器记录下来。

为了测取管形数据，应将管形标准样件固定在工作台面上的支架上，并用探头在管子各直线段上依次测量。当测量完毕后，计算机把计算的管形数据存储在存储器内，并可用坐标点（x，y，z）的形式或增量管形数据（DBB、POB、DOB）的形式输出。

2）接口。设计这一系统的目的是收集五个编码器的数据，由计算机加以处理，完成各种测量的计算。

VECTOR 1 管形测量机编制的弯管程序可经由专用电缆直接传送给 VB 弯管机的控制柜。而且 VECTOR 1 管形测量机上备有多个插座，可为多台弯管机服务。数据的传输由 VECTOR 1 上的弯管机接口板完成。

4.3.6　弯管设计要求

在使用数控弯管设备进行弯管时，弯管设计应遵循以下原则：

1）拉弯成形弯管前端一般应有直管段，直管段长度一般不应小于管子最大公称直径的 2.5 倍。推荐的直管段长度取值见表 4-8。

表 4-8　直管段长度

项目	尺寸/mm					
直径 OD	20	25	30	42	60	70
直管段 L_0	50 ~ 60	63 ~ 75	75 ~ 90	105 ~ 126	150 ~ 180	175 ~ 210
项目	尺寸/mm					
直径 OD	84	90	100	120	—	—
直管段 L_0	210 ~ 252	225 ~ 270	250 ~ 300	300 ~ 360	—	—

注：1. 直径 OD 为管截面最小外接圆公称直径。

2. 直管段 L_0 为两段弯管中间直线段长度。

3. 表中数值为常用国内型钢取值参考表，若型钢材料为 Q235 取同一规格较小数值，若材料为 Q345 取同一规格较大数值；若型钢壁厚在 2 ~ 4mm 之间取较小数值。

2）拉弯成形弯管最小弯管半径至少应为弯管方向管径尺寸的 2.5 倍，最大取值不超过 6 倍。J50 × 30 × 2.5 弯管，沿管径 30 方向最小弯管半径为 $R75$；沿管径 50 方向最小弯管半径为 $R125$，如图 4-29 所示。

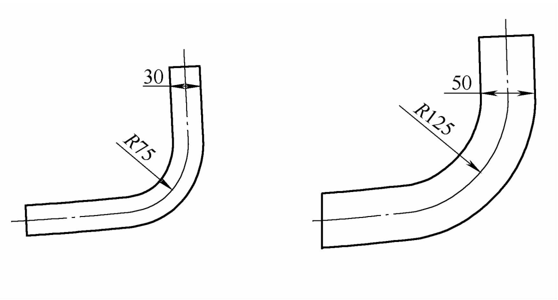


图 4-29　沿管径方向最小弯管半径

3）推弯成形弯管最小弯管半径至少为弯管方向管径尺寸的 6 倍。

4）成形弯管毛坯外形尺寸及壁厚对应数控弯管设备选择如图 4-30 和图 4-31 所示。

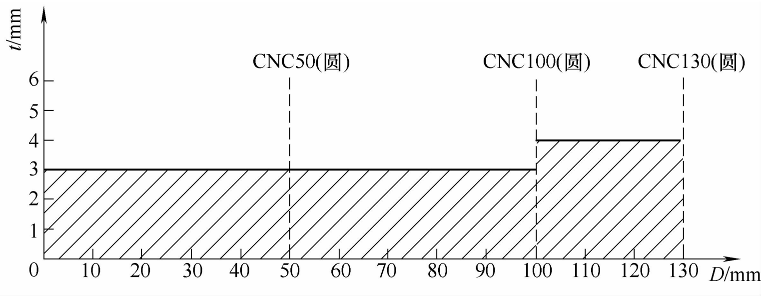


图 4-30　圆管型材范围

说明：

①“D”代表圆管直径或方管边长，“t”代表碳钢管壁厚。

② 拉弯、推弯成形工艺能够同时使用弯管设备型号为：CNC50TBRE，CNC100TBRE，CNC130MRE。

③ 图 4-30 和图 4-31 均为对应不同型号的数控弯管设备所能加工碳钢管的基本取值范围。

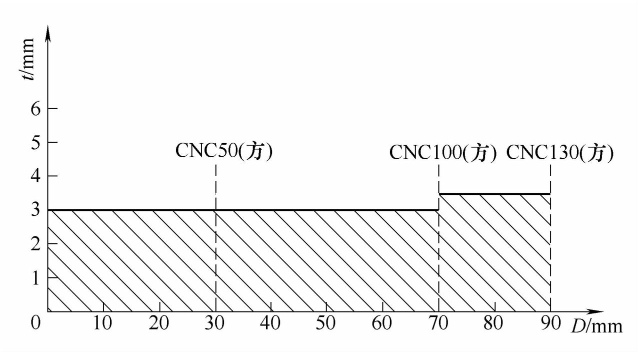


图 4-31　方管型材范围

④ 由于弯管的成形与成形弧段夹角、长短及弯曲半径等都相关联，因此还需根据产品设计来进行弯管工艺可行性的综合评定。

5）应按评定合格的弯管工艺进行弯管，不应弯制评定范围以外的碳钢管。

4.4　管材件弯曲成形模具

4.4.1　模具分类

按照管材弯曲成形的方式不同，弯曲成形所用的模具可以分为压弯模、拉弯模、推弯

模、绕弯模和滚弯模等。

1. 压弯模

压弯模模具结构简单，生产效率高，模具调整简单，为防止管壁起皱和压扁，对于外径为 10mm 以上的薄壁管，弯曲前需装入填充料。模具压弯法也存在一些缺点，如管坯与凸、凹模开始接触处，其管截面总会有一些畸变，使弯管质量不够理想。另外弯曲半径、角度及其弯曲形状也受到一定限制，故在生产中的应用较少。

图 4-32 和图 4-33 所示的分别是 V 形压弯模和 U 形压弯模，其凸模的工作表面与管坯外形相吻合，并置于左、右摆动凹模中间，管坯 2 放置在凹模 3 上，凸模 1 下行，在凸模力的作用下，凹模 3 绕轴销转动，从而使零件成形。

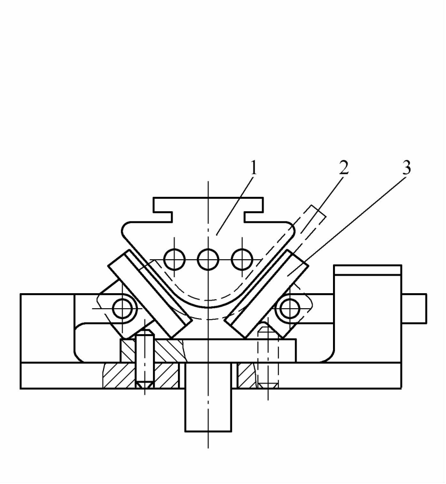


图 4-32　V 形件压弯模
1—凸模　2—管坯　3—摆动凹模

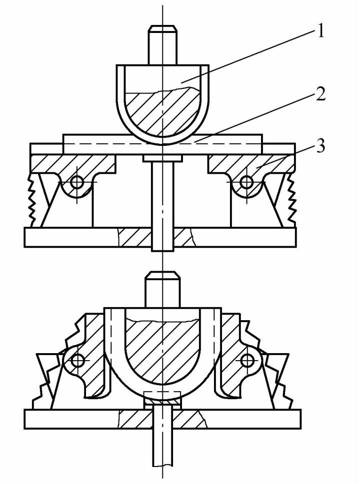


图 4-33　U 形件压弯模
1—凸模　2—管坯　3—摆动凹模

2. 拉弯模

如图 4-34 所示的拉弯模为方形钢管两层成形模具中下层拉弯成形模具工作结构示意图。该模具主要包括：弯管模 1、轮夹 2、夹模 3、夹模座 8、导模 5 以及模具安装所需机头曲臂 4、主轴 7、机身 6。机头曲臂 4 右上侧安装有主轴 7，主轴 7 安装有弯管模 1，弯管模上安装有轮夹 2；机头曲臂 4 左下侧安装有夹模座 8，夹模座 8 上安装有夹模 3；机头曲臂 4 右下侧机身 6 上的安装有导模座 9，导模座 9 上安装有导模 5。机头曲臂 4 具有以主轴 7 为中心的旋转运动，弯管模 1 通过键联结跟随主轴 7 作平面旋转运动，夹模 3 具有上下运动，并与弯管模 1 上轮夹 2 共同作用围绕主轴 7 作旋转运动，导模 5 具有左右、上下直线运动。

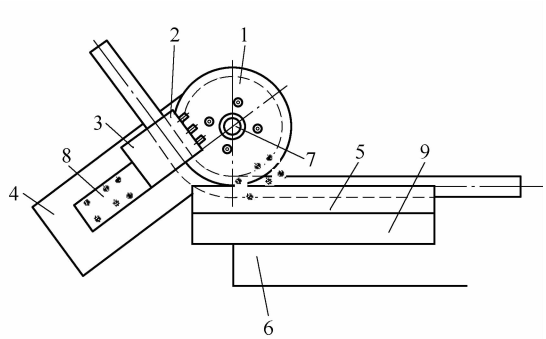


图 4-34　方形钢管两层成形模具中下层拉弯成形模具工作结构示意图
1—弯管模　2—轮夹　3—夹模　4—机头曲臂　5—导模
6—机身　7—主轴　8—夹模座　9—导模座

3. 推弯模

图 4-35 所示为异型钢管的推卷成形模具结构工作结构示意图。一种异型钢管的推卷成形模具结构主要包括：弯管轮模 1、主轴 2、夹轮 3、销轴 4、夹轮座 5、机头曲臂 6、导轮座 7、机身 8、导轮 9；机头曲臂 6 上端安装有主轴 2，主轴 2 上安装弯管轮模 1，主轴 2 下端偏左侧安装有夹轮座 5，夹轮 3 通过销轴 4 安装在夹轮座 5 中，弯管轮模 1 具有平面旋转运动，夹轮 3 具有上下运动和平面旋转运动；机身 8 上安装导轮座 7，导轮 9 通过销轴 4 安装在导轮座 7 中，导轮 9 具有横向直线运动和平面旋转运动。夹轮 3 和导轮 9 结构相同。

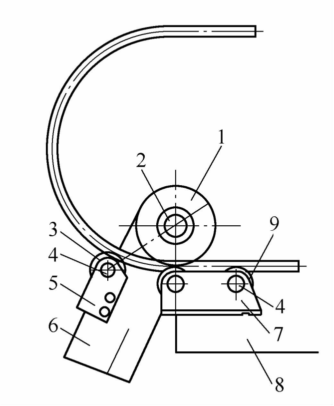


图 4-35　异型钢管的推卷成形模具结构工作结构示意图

1—弯管轮模　2—主轴　3—夹轮　4—销轴　5—夹轮座　6—机头曲臂　7—导轮座　8—机身　9—导轮

4.4.2　弯管时芯棒的选取和使用

芯棒是有芯弯管装置中的重要零件，其作用是从管坯内部支撑管壁，防止管件截面畸变和管壁折皱。所谓有芯弯管，就是当被弯制的管子相对弯曲半径 R/D 或相对壁厚 t/D 较小时，为了获得高质量的管件，在管子被弯制过程中，在其内部插入一根合适的芯棒，以防止管子弯曲时圆弧处出现变扁及起皱现象的方法（见图 4-36）。对于冷态弯管，合理选择芯棒的形式及掌握其正确的使用方法非常必要。

芯棒的形式有很多种，一般情况下，可将芯棒分为两大类：一种为硬式芯棒（见图 4-36a、b），一种为软式芯棒（见图 4-36c、d、e 和 f）。

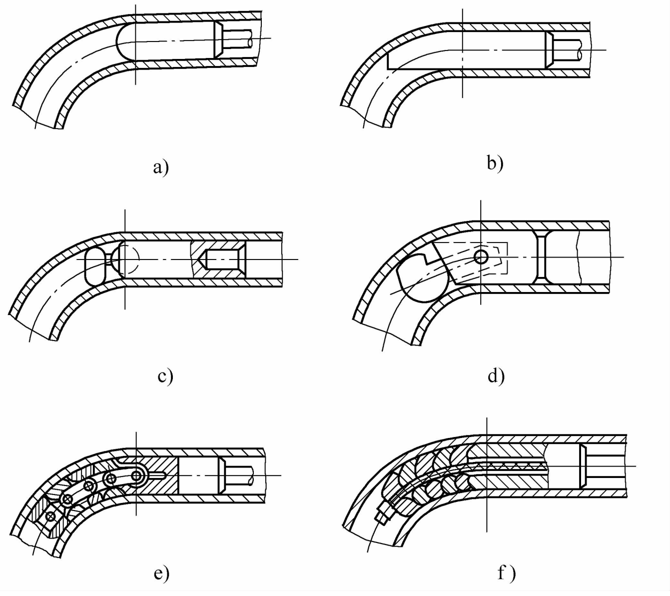


图 4-36　芯棒的结构形式

a）圆头式芯棒　b）勺式芯棒　c）单球芯棒（球窝式）　d）单球芯棒（轴销式）　e）多球芯棒（链节式）　f）多球芯棒（软轴式）

圆头式芯棒形状简单，制造方便。但由于芯棒与管壁接触面积少，因此防截面畸变的效果较差，通常用于要求不高的管件弯曲。芯棒常用 3Cr2W8V 材料制造，热处理硬度为 52 ~ 56HRC。

勺式芯棒与弯曲外侧壁的支承面积较大，防截面畸变的效果比圆头式芯棒好，且具有一定的防皱作用，制造也比较容易。它通常用于相对弯曲半径 $R/D \approx 2$ 的中等壁厚的较小直径弯管件。芯棒材料及热处理硬度与圆头式芯棒相同。

单球芯棒（球窝式、轴销式）可绕装配支点作一定量的转动，可较多地深入弯管变形区，防畸变效果较好，常用于直径（$D \leqslant 37$mm）不大的弯管件。芯棒材料为 45 钢（淬火 44 ~ 48HRC）或 GCr15（淬火 179 ~ 207HBS），若弯曲不锈钢管时，应采用铝青铜制造芯棒。

链节式多球芯棒是由支承球和链节组成，只能在一个弯曲平面内摆动。由于它可以深入弯曲变形区与管坯一起弯曲，因而防截面畸变的效果好。

软轴式多球芯棒是用一根软轴把多个碗状球体串接而成，可实现空间任意方向的摆动，适用于薄壁管的单一、多次和空间弯曲成形的管件。

采用多球芯棒弯管，在弯曲后借液压缸抽出芯棒过程中，还可对管件矫圆。多球芯棒的主要缺点是制造麻烦，芯棒材料及热处理要求与单球芯棒时相同。

对于不同的弯曲工艺，应采用不同类型的芯棒。压弯和绕弯时，多采用刚性芯棒，芯棒的头部呈半球形或其他曲面形状。弯曲时是否需要芯棒，用何种芯棒，可由图 4-37 确定。

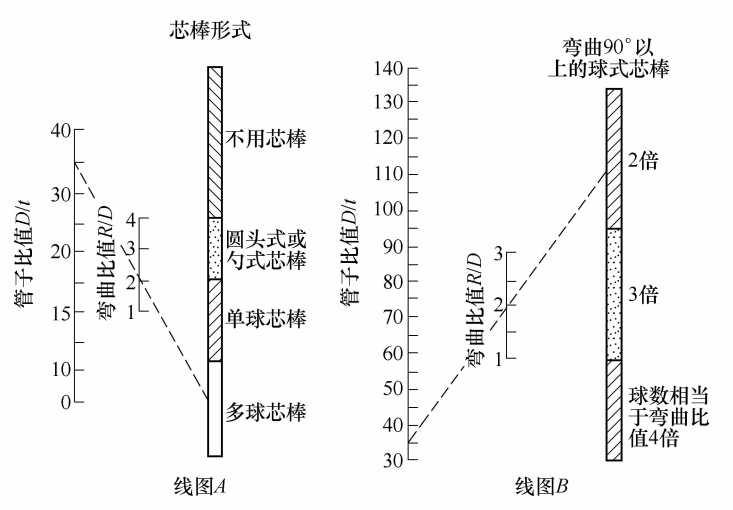


图 4-37　选用芯棒线图

对于相同外径 D、壁厚 t 的管子，在弯制不同的圆弧半径 R 时，由于其相对弯曲半径 R/D、相对壁厚 t/D 以及弯曲角度 α 的不同，其穿芯方式的选择见表 4-9。

表 4-9　芯棒穿芯方式

相对壁厚 t/D	相对弯曲半径 R/D									
	1		1.5		2		2.5		3	
	90°	180°	90°	180°	90°	180°	90°	180°	90°	180°
0.1	H	H	H	H	H	H	H	H	N	N
0.05	H	H	H	H	H	H	H	H	N	N

（续）

相对壁厚 t/D	相对弯曲半径 R/D									
	1		1.5		2		2.5		3	
	90°	180°	90°	180°	90°	180°	90°	180°	90°	180°
1/3	F-2	F-3	F-2	F-3	F-2	F-2	F-3	F-2	H	H
0.025	F-3	F-3	F-3	F-3	F-3	F-3	F-2	F-2	H	H
0.02	F-3	F-4	F-3	F-4	F-2	F-3	F-2	F-3	F-2	F-2
1/6	F-4	F-5	F-4	F-5	F-3	F-4	F-3	F-4	F-2	F-3
1/7	F-4	F-5	F-4	F-5	F-3	F-4	F-3	F-4	F-3	F-4

注：1. 表中 90°和 180°表示弯管最大弯曲角度 α。
2. N 表示可以不使用芯棒（即无芯弯管）。
3. H 表示可以使用硬式芯棒弯管。
4. F 表示需使用软式芯棒弯管，后面的数字为推荐的软芯节数。

芯棒形状确定之后，还不能保证弯出高质量的管子，芯棒与管子内径之间的间隙大小也是影响弯管质量的重要因素。如果芯棒的球节直径偏小，管子弯曲时圆弧内侧有可能产生波浪形起皱，而且还可能起不到防止圆弧外侧变扁的作用；直径偏大或者球节外径不够光滑时，会拉伤管壁，管子圆弧外侧还有可能起鼓包甚至破裂。选择合理的芯棒直径及对其充分润滑是保证弯管质量不可缺少的要素。

圆头式芯棒的尺寸及进入管内的工作位置如图 4-38所示。

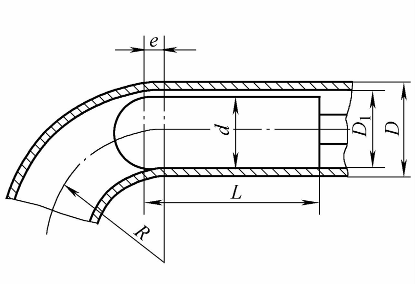


图 4-38　芯棒的工作位置和尺寸

为使芯棒顺利地插入管坯内，芯棒直径 d 一般应比管坯内径小 0.5～1.5mm，即

$$d = D_1 - (0.5 \sim 1.5) \tag{4-15}$$

芯棒的圆柱体长度 L 为

$$L = (3 \sim 5)d \tag{4-16}$$

当芯棒的直径 d 大时，系数取小值，反之取大值。

芯棒的工作位置应比弯曲中心线超前一段距离 e。但超前距离不能过多，过多时管坯弯曲外侧壁受拉伸严重，使变薄量增加，易导致破裂。若芯棒偏后，则管坯弯曲内侧壁易失稳起皱，截面畸变也严重，起不到芯棒应有的作用。一般说来，e 的大小应根据管坯直径、弯曲半径和管坯内径与芯棒之间的间隙大小而定，然后再视生产实际情况进行适当调整。e 值可按下式计算

$$e = \sqrt{2\left(R + \frac{D_1}{2}\right)z - z^2} \tag{4-17}$$

式中　D_1——管坯内径（mm）；
R——中心层弯曲半径（mm）；
z——管坯内壁与芯棒之间的间隙（mm），$z = D_1 - d$。

4.4.3　模具设计原则（管件设计原则）

1. 管形规整化

管形应由直线段和圆弧段所组成。要避免过大的圆弧、任意曲线、复合弯以及大于

180°的圆弧等。原因如下所述：

1）过大的圆弧不但使工装笨重，而且受到弯管机床尺寸的限制。其实这种过大的圆弧，半径甚至大于发动机横截面的燃油总管，完全可以用近似于圆的多边形来代替。斯贝发动机的燃油总管就采用了这种多边形的结构。

2）任意曲线、复合弯的设计造型很不合理，极大地妨碍了机械化、自动化的生产，使操作员难以摆脱笨重的体力劳动。实践早已证明，任意曲线、复合弯也完全可以在其管形走向不变的情况下，用其折线来代替。

3）大于 180°的圆弧，在设计造型时应尽量避免。因为它使模块式弯管机无法卸模。

此外，两圆弧段之间的直线段不应小于管子外径的 2 ~3 倍，以使夹模能够夹紧管子，保证弯管机顺利弯管。

2. 弯曲半径的标准化

（1）一管一模　对于一根管子来说，无论有几个弯，不管弯曲角度如何（不应大于 180°），其弯曲半径最好统一。

既然一管一模，那么，对于不同直径规格的管子，应该选取多大的弯曲半径才适宜呢？最小弯曲半径取决于材料特性、弯曲角度、弯曲后的管壁外侧的变薄允许量和内侧起皱的大小，以及弯曲处的椭圆度的大小。一般说来，最小弯曲半径不小于管子外径的 2 ~2.5 倍。

对于飞机或发动机的导管来说，因为各种管子是在内、外部有限的空间内穿行，所以管子的弯曲半径取小些为宜。小的弯曲半径能使管形的走向变化灵活，适应性强。对于大直径的发动机和大型飞机，在其管路排列比较疏松的情况下，可以选取略大的弯曲半径。因为大的弯曲半径有利于弯曲成形，对弯管有利。

一管一模也带来了一个新的问题。这就是每根管子上的弯数增加了，从而增加了弯管的难度。过去，国产的一些发动机的导管每根一般为 3 ~5 个弯，个别的不超过 7 ~8 个弯。而采用数控弯管的斯贝发动机的导管，每根管子上的弯数为 5 ~10 个，多的达 25 个弯。尽管每根管子上的弯数增加了，但由于采用了数控弯管，不但减轻了手工弯管的劳动强度，工效提高几倍或几十倍，而且质量也有了更可靠的保证。

（2）多管一模　所谓多管一模，就是同一直径规格的管子应尽量采用同一种弯曲半径。也就是使用同一套模具弯制不同形状的管形。这样，才能有利于最大限度地压缩专用工艺设备，减少弯模的制造量，从而降低生产成本。

在一般情况下，同一直径规格的管子只采用一种弯曲半径不一定能够满足实际位置的装配需要。因此，相同直径规格的管子可以选取 2 ~4 种弯曲半径，以适应实际的需要。如果弯曲半径取 $2D$（D 为管子外径），那么弯曲半径取该管子的 $2D$、$2.5D$、$3D$、$4D$ 也可。当然，这种弯曲半径的比例不是固定不变的，应按飞机或发动机的实际情况选定，但是半径不宜过大。而弯曲半径的规格也不宜过多，否则会失去多管一模所带来的利益。

以斯贝发动机上的管件为例，其导管的数量之多、形状之复杂、排列之密集，斯贝发动机远远地超过了目前国内生产的所有机种，但它却较好地解决了导管弯曲半径标准化的问题。它除了个别导管因为发动机结构的特殊需要外，90%以上的导管采用了一根管子一个弯曲半径，而同直径规格的管子又只采用了 2 ~4 种弯曲半径。以直径 6.35mm、弯曲半径为

19.05mm 的导管为例，它共有 50 多种零件号，却只用了一套弯曲模块。整个斯贝发动机的导管，仅仅用了 20 余套弯曲模块，70% 以上的管子在数控弯管机上弯曲。这是国内当前生产的任何一个机种所无法达到的。由于弯管弯曲半径标准化所带来的减少模具制造量和降低生产成本的利益，大大超过了添置设备所需的投资，而且任何一个新机型的各种弯管，都能够快速灵活地生产出来，大大缩短生产准备周期，加速试制进度。所以，弯管弯曲半径标准化对改型和更新以及多种机型同时生产的实际情况能带来了极大的好处。

一根管子上采用同一个弯曲半径（即一管一模）和同规格管子的弯曲半径标准化（多管一模）已成为当前国外导管设计造型的特点和总的趋势，是机械化和自动化代替手工劳动的必然结果，也是设计适应先进的加工工艺和先进的加工工艺促进设计的两者的结合。因此，弯管的标准化——即管形的规格化和导管弯曲半径标准化是当前采用数控弯管急待解决的问题。必须从弯管的设计造型入手，适应矢量数控弯管的特点，才能使我国弯管技术有一个较大的突破。

4.5 管材件成形设备

4.5.1 弯管成形设备分类

1. 弯管机

弯管机是管材加工的主要设备。弯管机的结构形式很多，按弯管时是否加热可分为冷弯管机和热弯管机两类，按传动方式可分为机械传动和液压传动两种，按控制方式又可分为手控、半自动、自动和数控 4 种。机械传动式弯管机结构简单，制造方便，通用性较大。液压弯管机传动平稳、可靠，噪声小，结构紧凑，能弯制不同直径的管材。半自动控制的弯管机，一般只对弯管角度实行自动控制，主要用于中、小批量的生产。自动控制的弯管机能对管材的送进、弯管和空间转角的弯管全过程实行自动控制，这种弯管机一般采用液压传动，适用于大批生产及管件尺寸多变的场合。数控弯管机能够根据零件图规定的程序和尺寸，通过输入数据来实现弯管过程的全自动控制，它适用于大批量生产，尤其是管件尺寸参数多变的场合。本节简单介绍生产中常见的冷、热弯管机的基本结构及其主要技术性能。

（1）冷弯管机

1）手动弯管机。常用的手动弯管机如图 4-39 所示，可弯曲直径为 15、20、25 的管材。手动弯管机由钢夹套 1、固定导轮 3、活动导轮 2 及夹圈 4 等机件构成，并用螺栓固定到机架上。

弯管前，首先把管坯装在两导轮的中间，并将管端套入固定导轮的夹圈内。弯管时，转动钢夹套并带动活动导轮，使围绕固定导轮转动，便可完成弯管过程。该手动弯管机的最大弯曲角度可达 180°，其技术性能见表 4-10。

2）机动弯管机。常用的机动（用蜗轮蜗杆驱动）弯管机如图 4-40 所示，可弯曲直径为 $\phi15 \sim \phi32$mm 的管材。机动弯管机由机架 1、蜗轮减速机 2、电动机 4 及四副导轮 3 等机件构成，其工作原理同手动弯管机。

弯管时，先把管坯装入相应直径的导轮副内，并用夹圈予以固定，然后开动电动机，使活动导轮绕固定导轮转动，便可完成弯管工作。该弯管机的技术性能见表 4-11。

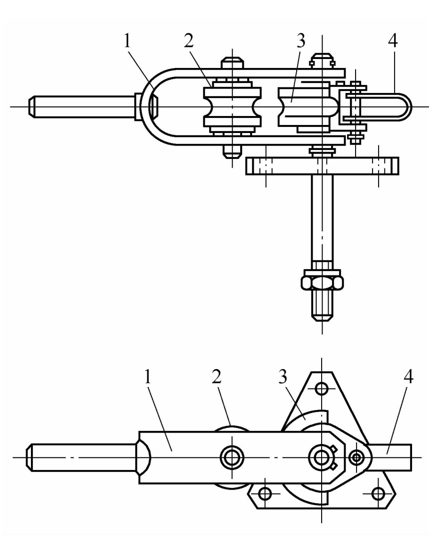


图 4-39　手动弯管机

1—钢夹套　2—活动导轮　3—固定导轮　4—夹圈

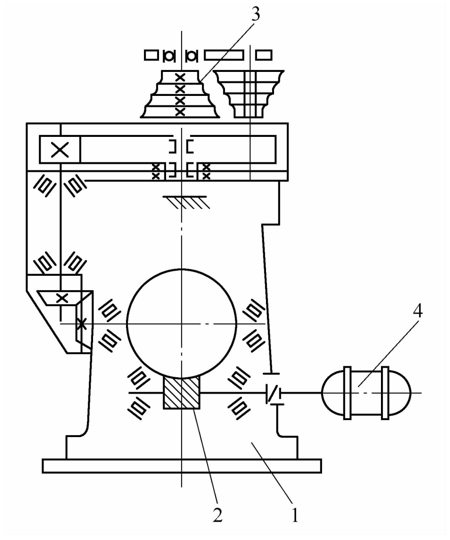


图 4-40　机动弯管机

1—机架　2—蜗轮减速机　3—四副导轮　4—电动机

表 4-10　手动弯管机技术性能

技术指标	数　据		
弯管直径/mm	15	20	25
弯曲半径/mm	50	63	85
外形尺寸/mm	500 × 152 × 292	640 × 162 × 292	722 × 230 × 271
重量/N	110	140	170

表 4-11　机动弯管机技术性能

技术指标	数　据			
弯管直径/mm	15	20	25	32
弯曲半径/mm	49	63	87	114
最大弯曲角度/(°)	180			
电动机功率/kW	2. 8			
外形尺寸/mm	650 × 975 × 1341			
重量/N	4900			

3）有芯弯管机　有芯弯管机如图 4-41 所示，可弯曲直径 $\phi32 \sim \phi159$mm 的管材。当弯曲不同直径的管材时，可换用不同直径的弯管导轮、压块及芯棒。

有芯弯管机由机架 9（机架内有减速机）、转动工作台 2、弯曲导轮 3、压块 11 的支撑杆 6、顶架 10、芯棒 4、偏心夹圈 1 及电动机 7 等构成。弯管机上有手柄，可以控制机床减速器的离合，以及进退顶架及压块，以便调节管坯的夹紧程度。弯管速度可通过更换齿轮副来调节。

弯管时，先将芯棒插入管坯内，并用偏心夹圈将管坯紧固到弯曲导轮上。当旋转工作台转动时，管坯被逐渐弯曲成形。芯棒在整个弯曲过程中保持不动，其作用是从内部支撑管壁，防止弯曲部分呈椭圆形。有芯弯管机的技术性能见表 4-12。

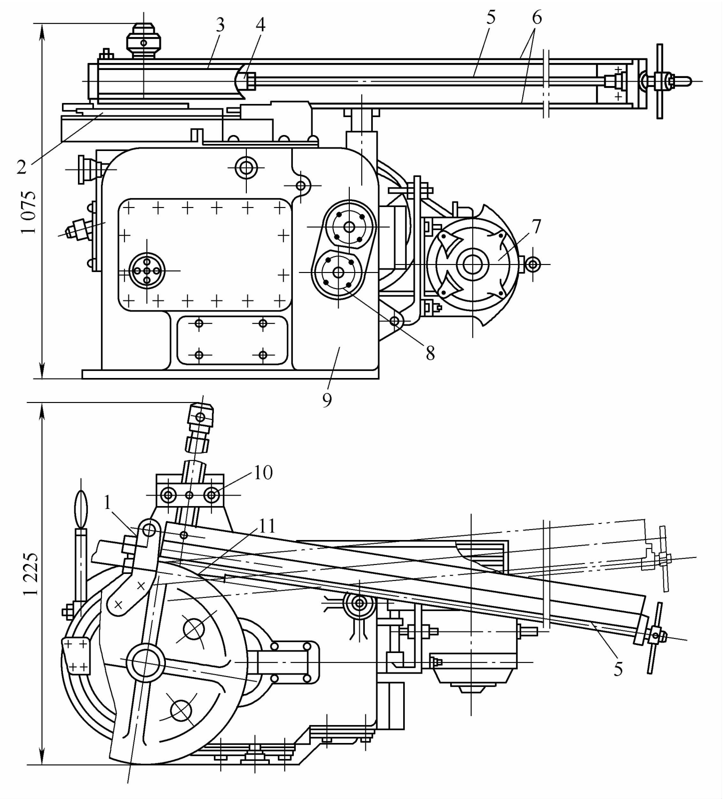


图 4-41　有芯弯管机

1—偏心夹圈　2—转动工作台　3—弯曲导轮　4—芯棒　5—拉杆　6—支撑杆
7—电动机　8—齿轮副　9—机架　10—顶架　11—压块

表 4-12　有芯弯管机的技术性能

技术指标		数据		
弯管直径/mm		32 ~ 89	38 ~ 108	38 ~ 159
弯管最大壁厚/mm		5	8	8
弯曲半径/mm		85 ~ 350	75 ~ 800	75 ~ 1000
最大弯曲角度/(°)	当弯曲半径≤400mm	180	180	180
	当弯曲半径 > 400mm	—	90	90
弯曲导轮回转速度/($r \cdot min^{-1}$)		0.6	0.43	0.43
配套的导轮数		6	9	11
电动机功率/kW		4.5	7	2 × 7
重量/N		16740	27340	40000

大型有芯弯管机如图 4-42 所示，可弯曲直径 ϕ108 ~ ϕ219 的管材。机上备有扇形拉盘 2、成套可换用的弯管扇形轮 1、管坯夹持器 3、芯棒 4、工作台 5、支架 6、芯棒支杆 7 及电动卷扬机 8。弯管机用电动卷扬机带动，通过钢丝绳拉动扇形拉杆。卷扬机卷筒分为两个部分，一部分缠卷，一部分放松。当卷筒反向转动时，扇形拉杆回复到原始位置。

当弯曲不同直径的管材时，可换用相应直径的弯管扇形轮、管坯夹持器及芯棒等部件。该大型弯管机的技术性能见表 4-13。

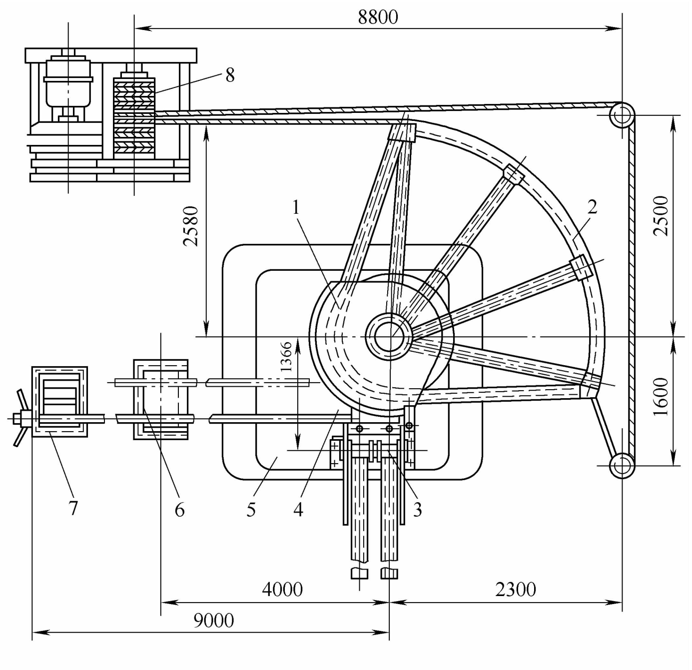


图 4-42　大型弯管机

1—弯管扇形轮　2—扇形拉盘　3—管坯夹持器　4—芯棒　5—工作台
6—支架　7—芯棒支杆　8—电动卷扬机

表 4-13　大型弯管机技术性能

技术指标	数　据	技术指标	数　据
弯管直径/mm	108,114,133,159,168,219	弯管速度/(m·min^{-1})	8~10
弯管最大壁厚/mm	8	电动卷扬机弯管时牵引力/kN	50
弯曲半径/mm	4*D*(*D* 为弯曲直径)	外形尺寸/m	11.8×4.65×1.3
最大弯曲角度/(°)	90		

4）液压弯管机　常用的液压弯管机如图 4-43 所示，其技术性能见表 4-14。

表 4-14　液压弯管机技术性能

技术指标	数　据		
弯管直径/mm	15,20,25	25,32,40,50	76,89,114,127
最大弯曲角度/(°)	90	90	90
活塞杆最大行程/mm	300	310	530
最大压力/MPa	—	300	300
液压机性能	手动柱塞泵	手动柱塞泵或机动泵	电动活塞泵
手压泵的最大压力/N	200	230	—
电动机功率/kW	—	—	2.8
弯管时弯管模胎回转速度/(mm·s^{-1})	—	—	4.5
外形尺寸/mm	—	700×700×220	1500×1400×700
重量/N	175	460	6320

注：弯管壁厚为 3~7mm。

（2）中频感应电热弯管机　中频感应电热弯管机是常用的热弯弯管设备，可实现加热、弯曲及冷却连续进行的弯管过程。这类弯管机由机械和电气两部分构成，机械部分即弯管的

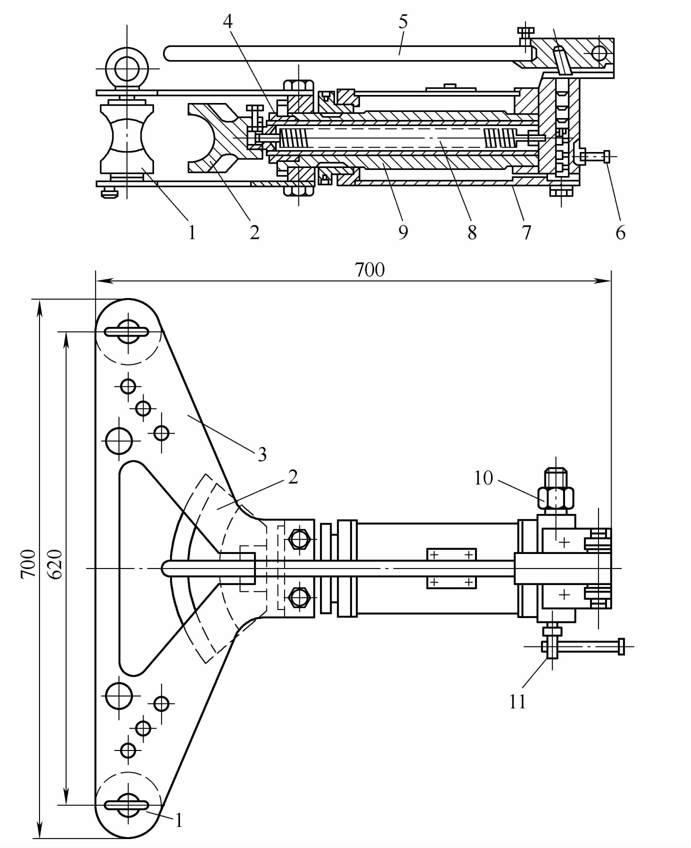


图 4-43　液压弯管机

1—顶轮　2—弯管模胎　3—夹套　4—复位弹簧　5—手柄　6—放油嘴
7—油罐　8—活塞杆　9—液压缸　10—进油嘴　11—针阀

夹持及施力部分，电气部分则包括电动机及中频发生装置。根据弯管时施加弯矩的方法不同，弯管机又分为推弯式和拉弯式两种类型。

1）推弯式中频感应电热弯管机。推弯式中频感应电热弯管机工作原理如图 4-44 所示，它是通过对管坯轴向施加推力 F，边加热、边弯曲、边喷水冷却，从而完成弯管过程的。其弯管机的技术性能见表 4-15。

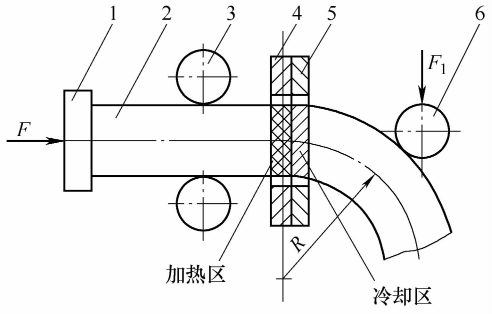


图 4-44　推弯式中频感应电热弯管机工作原理图

1—推力挡板　2—管坯　3—导轮　4—中频感应圈　5—冷却器　6—顶轮

表 4-15　中频感应电热弯管机技术性能

<table>
<tr><th colspan="2">技术指标</th><th>数　　据</th><th colspan="2">技术指标</th><th>数　　据</th></tr>
<tr><td colspan="2">弯管直径/mm</td><td>952 ~ 99</td><td colspan="2">纵向与横向传动电动机功率/kW</td><td>4.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">管壁厚度/mm</td><td>< 10</td><td rowspan="4">中频电热装置</td><td>功率/kW</td><td>100</td></tr>
<tr><td colspan="2">最小弯曲半径/mm</td><td>1.5D(D 为弯管直径)</td><td>频率/Hz</td><td>2500</td></tr>
<tr><td rowspan="2">机构进给速度/(mm · s⁻¹)</td><td>纵向</td><td>0.3 ~ 3</td><td>外形尺寸/m</td><td>5.2 × 1.62 × 1.05</td></tr>
<tr><td>横向</td><td>0.2 ~ 2</td><td>重量/kN</td><td>50</td></tr>
</table>

2）拉弯式中频感应电热弯管机。拉弯式中频感应电热弯管机结构原理如图 4-45 所示，主要用于弯制厚壁（< 30mm）管件。这种弯管机较上述推弯式弯管机结构要简单，因为它无需设置纵向及横向顶管机构，只用电动卷扬机 10 带动扇形圆盘 5 就可完成弯管工作。

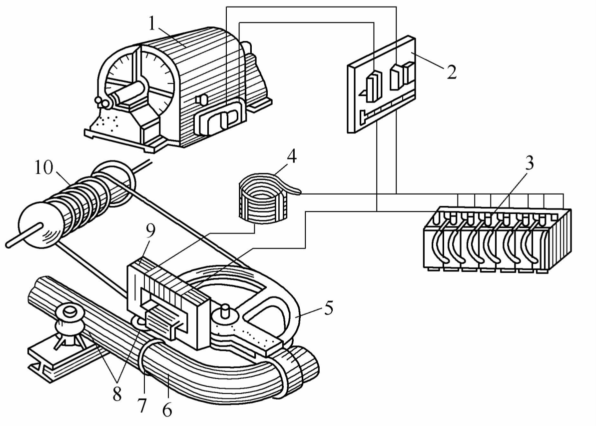


图 4-45　拉弯式中频感应电热弯管机结构原理图

1—中频发电机　2—开关盘　3—蓄电池组　4—电抗器　5—扇形圆盘　6—管坯
7—感应圈　8—导轮　9—变压器　10—电动卷扬机

用中频感应电热弯管机弯管时，应使感应圈距弯管弯曲内侧的空隙小一些，外侧大一些，以保证内侧管壁加热效果。感应加热宽度视中频功率、感应圈宽度、感应圈与管坯的相对位置而定，一般约为 10 ~ 20mm。

中频感应电热弯管机弯制 20 号钢管时的弯管技术参数见表 4-16，可供参考。

表 4-16　20 号钢管中频弯管技术参数

(管坯外径 D/mm) × (壁厚 t/mm)	功率耗量/kW	弯管速度/(mm · s^{-1})	加热温度/℃
ϕ83 × 14	60 ~ 70	1 ~ 1.2	900 ~ 950
ϕ102 × 16	70 ~ 75	0.9 ~ 1.1	900 ~ 950
ϕ102 × 22	70 ~ 75	0.8 ~ 1	900 ~ 950
ϕ127 × 19	70 ~ 75	0.8 ~ 1	900 ~ 950
ϕ127 × 28	75 ~ 80	0.6 ~ 0.7	950 ~ 1000
ϕ159 × 28	80 ~ 90	0.5 ~ 0.6	950 ~ 1000
ϕ180 × 28	90 ~ 100	0.4 ~ 0.5	1000 ~ 1050

不锈钢管可用中频感应电热弯管机弯管。弯管时要特别注意加热温度，使其不低于 900℃。因为不锈钢在 500 ~ 850℃的温度范围内长期加热时，有产生晶间腐蚀的倾向，故不

锈钢管只能冷弯或在 1100～1200℃的温度下热弯。中频感应电热弯管机弯制不锈钢管时的弯管技术参数见表 4-17。

表 4-17　不锈钢管中频弯管技术参数

(管坯外径 D/mm)×(壁厚 t/mm)	功率耗量/kW	弯管速度/(mm·s^{-1})	加热温度/℃
ϕ89×4.5	30～40	1.8～2	1100～1150
ϕ108×5.5	30～40	1.2～1.4	1100～1150
ϕ133×6	40～50	1～1.2	1100～1150
ϕ159×6	50～60	0.8～1	1100～1150
ϕ168×13	70～80	0.8～1	1130～1180
ϕ102×17	80～90	0.6～0.8	1130～1180

2. 滚弯机

滚弯机的工作原理如图 4-46 所示，管坯放置在三个辊轮之间，通过调整三个辊轮的相对位置，即可将管材弯曲成不同曲率大小的管件。滚弯机如图 4-47 所示。

滚弯机主要用于加工铁、铜、铝等金属型材或异型材的弯弧，广泛用于家具厂的弯圆弧家具或铁艺工程、金属门窗厂的圆弧形铁门窗或铝合金门窗等。使用数控技术弯管，具有使型材弯弧的操作更加方便简单，并且弯制精度高，且弯制型材弯弧后变形较小、表面无刮痕等优势。一般使用的弯管机为三轴数控加工设备。

滚弯机通过重复的弯曲，能得到大半径的成品。通用型的加工机器，能适应一些外形轮廓和材质的要求的加工。全液压类型的装备，通过可编程的八个程序来控制，且每一个程序都可记录无限多变化。

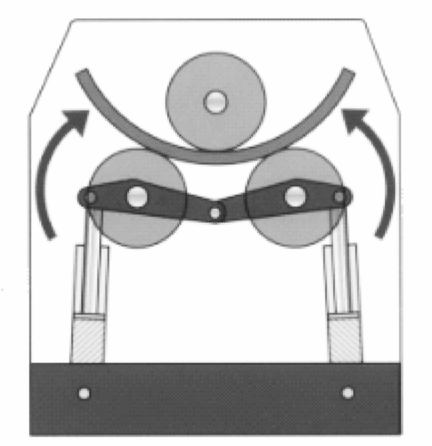
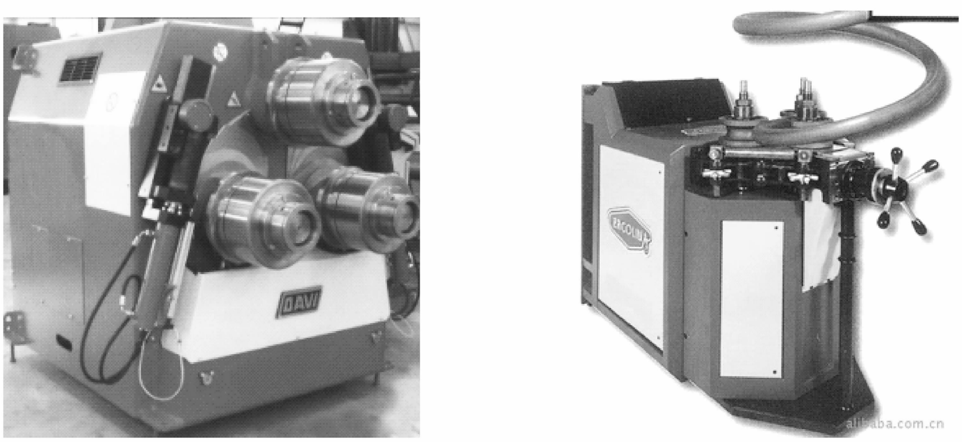


图 4-46　滚弯机工作原理图



a)　　b)

图 4-47　滚弯机

a）卧式滚弯机　b）立式滚弯机

所有的手控单元装备是为双速度中心滚轮而专门配置的。中心滚轮的位置都以数字化显示。滚弯速度高达 20ft/min（约为 6.10m/min）。所有型号的机器都可以水平的和垂直地进行工作。螺纹式的驱动轴能允许进行精确微调，哪怕是在加工毫无间隔之时。同轴的齿轮设计，减少了油浴，确保高功率的传送效率。调质合金钢的驱动轴安装了圆锥滚子轴承。采用低电压控制器。改良了性能的中心滚轴的液压缸位于机架之内。手动操作台包含有脚踏控制器。可调滚轴系统便于修正旋转情况。加工工具的存放室合成在机器的底部。

滚弯机的特点如下：

1）可用于弯曲加工大圆弧和螺旋形管件，通常弯曲半径大于 6 倍管子直径。

2）结构紧凑，可靠性高，不易打滑，提高管件质量及可行性。

3）传动平稳，采用三棍组合模具，结合调整、压紧，可获得不同曲率的圆形，弧形或螺旋形。

4）改变模具槽型，可加工各种金属型材，如角钢、扁钢、圆管以及其他异型截面型材。

5）弯制大半径型材，避免了制作特大弯管模的弊端，可完成系列单头、双头弯管机所不能完成的工作。

3. 压力机

压力机主要用于模具压弯，有关压力机的内容见 3.6 节的内容。

4. 三维拉弯机

三维拉弯机主要用于汽车门框、窗框、流水槽以及其他空间弯曲件的塑性成形加工，是一种电气及液压传动等为一体的自动化设备。图 4-48 所示为某厂生产的三维拉弯机。

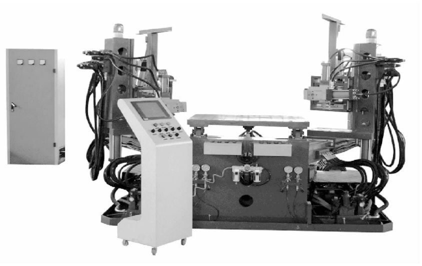


图 4-48　三维拉弯机

工作原理：该设备主要靠液压缸驱动各个运动构件来实现工件的加工成形工作，该设备共分为 4 个液压系统，每一个液压系统的压力范围为 0 ~ 150bar（可调），允许超过系统压力的 20%。其中左右臂的拉升力分别由两个 30L/min 的液压泵单独控制，采用比例溢流阀来控制拉升的力矩，设定压力与实际压力偏差约为 3%，重复稳定系数为（20℃-40）1%[㊀]。左右臂上的拉弯液压缸和加紧、旋转液压缸是由两台 80L/min 液压泵控制。Z 轴的升降和工作台的升降分别由 52L/min 和 30L/min 两台液压泵控制，可按照被加工的产品弧度要求来选择是否开启该液压泵电动机，有利于更好地节约能源。

另外，该设备还配备 8 路独立备用液压接口和 4 路独立备用气压接口，所有的备用接口都与整机的液压、电气等系统相连，可根据不同模具的要求来设定。

设备在更换模具方面相当简便，一般一位操作工人更换一副普通的完好模具用时约 2 小时（根据模具的简易程度时间会有改变）。设备可以存储多套模具信息，在更换模具后可以及时调出该套模具的生产数据进行生产，能有效的降低调试时间和缩短加工周期。

三维拉弯机的技术参数如下：

1）工作台面旋转角度（$-13° \sim +20°$）；左右摇臂中心旋转角度均为 90°。

㊀ 表示温度 20℃、湿度为 40% 时的误差为 1%。

2）左、右夹头距离 $L=0\sim3500$mm 可调，可做引伸运动 600mm。

3）夹头中心高度 $H=1280\sim1880$mm，可沿线性滑轨上下运动 600mm。

4）工作台面高度 $H_1=1200$mm。

5）液压功率 20MPa，电动机功率 15kW ×3。

4.5.2　辅助设备分类

管件成形的辅助设备即管件切割设备，常用的有铣削加工设备、孔加工设备、锯切加工设备、等离子切割加工设备以及激光切管设备。

1. 铣削加工设备

铣削加工主要用来加工结构管件搭接之间较为简单的不规则成形面，现场使用的加工设备主要有铣床、车床及数控铣床、车床等。卧式车床如图 4-49 所示，立式铣床如图 4-50 所示。

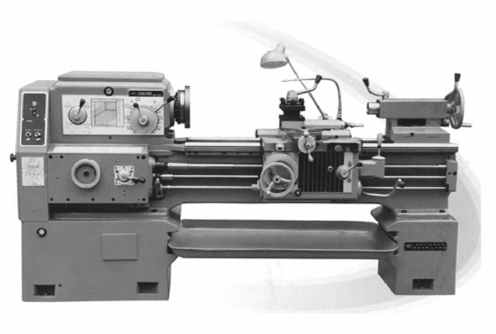


图 4-49　卧式车床

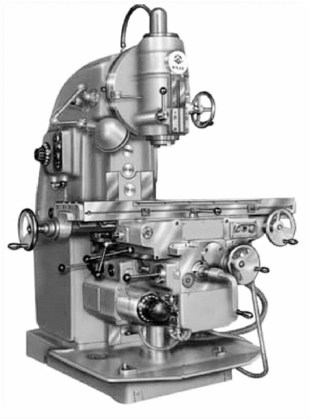


图 4-50　立式铣床

2. 孔加工设备

孔加工设备主要用来加工管件上的流漆孔、装配孔、塞焊孔、工艺孔等，生产中使用的加工设备有摇臂钻床、冲床等。摇臂钻床如图 4-51 所示，压力机如图 4-52 所示。

图 4-51　摇臂钻床

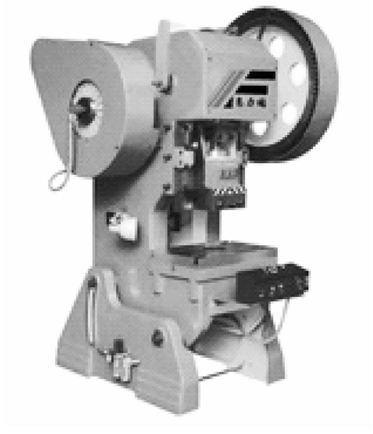


图 4-52　压力机

3. 锯切加工设备

锯切加工设备主要用于管件成形前毛坯下料和成形后弯管工艺余量的锯切，生产中使用的加工设备有金属圆锯机（图 4-53）和带锯机（图 4-54）等。

图 4-53　金属圆锯机

图 4-54　金属带锯机

4. 等离子切割加工设备

等离子切割由于在使用上相对铣削加工较为方便、易于操作，因此主要用来加工较为复杂的型面，现场使用的切割加工设备有手工等离子切割机。但是在未来发展趋势上，势必被加工切割取代。等离子切割机的介绍见第 5 章第 5.6.1 节。

5. 激光切管设备

激光切管设备分为专用于管材切割的金属管材激光切割机和金属管板两用的激光切割机。

激光切管机行业上一般采用的是金属激光切割机加切管旋转装置后的非标激光切割机机型，比较适用于圆管相贯线的切割加工，现在也逐步应用到方管的切割加工，比如 Amada 生产的激光切管机。还有利用切割激光头的旋转和直线运动以及机器人定位上、下料来完成管件的定位，比如 BLM 生产的激光切管机。

意大利博利马集团下的艾迪奇（Adige）管材激光切管机 LT823D（见图 4-55）是一款技术领先的管材激光切管机。制造精美的多轴（包括摆动头）全数控管材激光切管机具有市场竞争优势，超越了传统的管材加工工艺。图 4-56 所示为使用该设备切割管件的切割过程示意图，图 4-57 所示为 LT823D 设备组成。

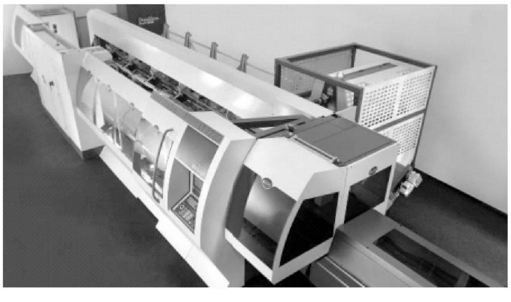


图 4-55　多轴全自动（带摆头）管材切割机

图 4-56　切割过程

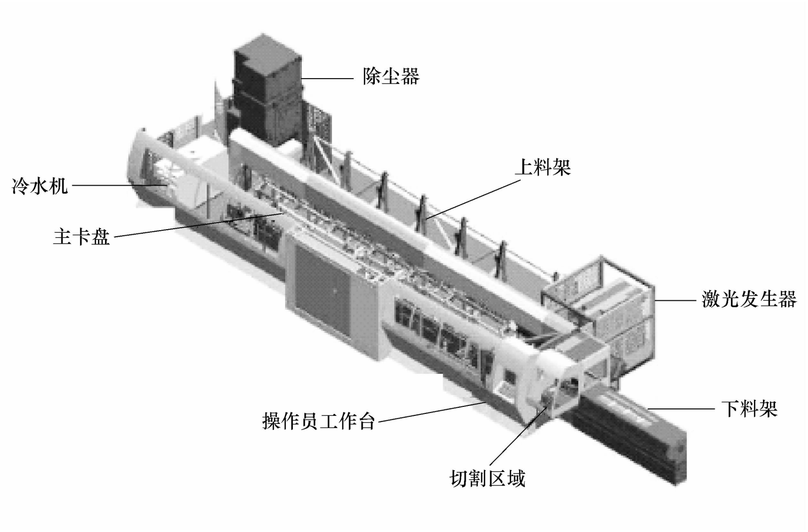


图 4-57　管材激光切管机 LT823D 设备组成

LT823D 型切割机将传统的管材加工的各种工艺、工序（如管材尺寸下料、打孔、铣、打磨和冲压等）融为一体，用单一的管件激光切割替代传统的各加工工序。减少了直接和间接的劳力；同时，管材的激光切割提高了产品质量、精度，减少了传统加工的工装夹具和加工前的设定时间。

设备加工能力：可加工圆管、方管、长方管和其他特殊形状的管材，包括选择性的角铁、工字钢和扁铁。在合适的激光切割辅助气体作用下，该设备还可以切割和加工碳钢、合金钢、不锈钢及铝合金管材。普遍适用于农业和工业产品，如工装夹具、制管、管材加工、医疗器械、建筑设备等，切割效果如图 4-58 所示。

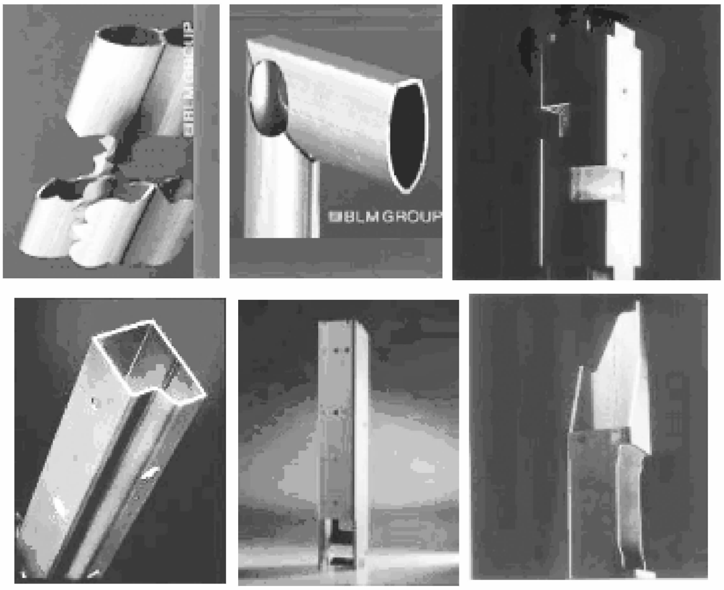


图 4-58　多轴全自动（带摆头）管材切割机管件激光切割效果

管材激光切管机 LT823D 工装夹具如图 4-59a 所示，4-59b 所示为切割工艺口弯管实例。

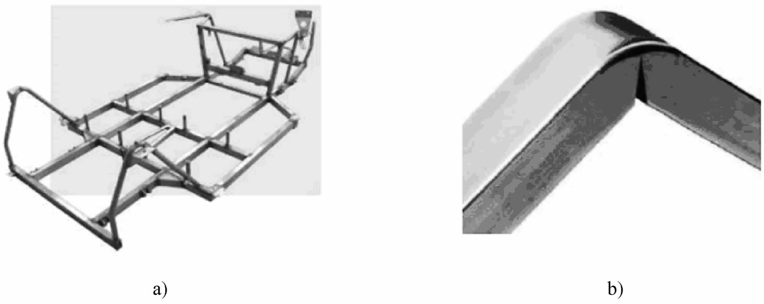


图 4-59
a）工装夹具　b）切割工艺口弯管

由于激光切割对管件切割前的加工精度要求较高，一拖公司使用的多数是成形管件的型面加工，因此采用的切割方案是激光切割机器人与切割工作台相配合进行的激光切割，这样更适合切割管材，以及对管材进行镂空加工等。管材激光切割机是为了适应石油管道设备、工业金属管材镂空、管材管壁上异形图加工等需求而设计制造的专业管材加工设备。金属管材激光切割机具有以下优点：

1）切缝质量高、变形小，外观平整、美观。

2）切割速度快、效率高、成本低、操作安全、性能稳定。

3）采用进口伺服电动机和导向传动机构，切割精度高。

4）采用专业软件，可随意设计各种图形或文字进行加工，加工灵活，操作简单、方便。

5）激光束易实现时间或空间分光，可进行多光束同时加工或多工位顺序加工。

6）同一台设备不但能完成切割，还能实现激光焊接功能。

4.6 管材件成形生产案例及分析

4.6.1 驾驶室类生产

框架式驾驶室，无论是农机驾驶室还是工程机械驾驶室，其组成框架的结构件类似。一般可分为前围框架和左、右侧围框架，后围框架、顶上框架和地板框架，由于顶上框架和地板框架较为简单，这里不再介绍。

1. 农业机械驾驶室

（1）农业机械驾驶室管件构成　如图 4-60 所示的 70 马力框架驾驶室，其框架组成结构如下：

1）前围框架：左、右前立柱 4（又称 A 柱），前上横梁 5，左、右中横梁 2，左、右下横梁 1 和龙门梁 3；其中左、右前立柱 4 为截面复杂的“8”字形状，其余为不同截面的矩形管。

2）侧围框架：左、右侧围基本结构是对称的，左、右上边梁 7，左、右下弧形梁 10 和

门槛梁11，中立柱8；其中中立柱8采用了U型折弯件，其余均采用不同截面矩形管。

3）后围框架：后上横梁6，左、右后立柱9，后下横梁；其中后下横梁采用了U型折弯件，其余均采用不同截面矩形管。

（2）驾驶室管件成形工艺　根据每个管件的结构特点，一拖公司生产中使用的成形工艺方式可以分为以下几类：

1）数控弯管：采用该工艺加工的管件有左、右前立柱，前上横梁，龙门梁，上边梁，下弧形梁。根据成形原理的区别又分为拉弯弯管和推完弯管两种，比如龙门梁采用的是拉弯工艺，其余管件采用的均是推弯工艺。

2）冲压弯管：采用该工艺加工的管件有左、右中横梁，左、右下横梁，门槛梁。

3）锯切直管：采用该工艺加工的管件有后上横梁，左、右后立柱。

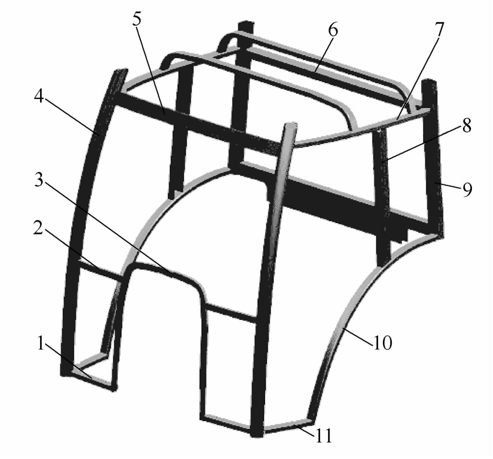


图4-60　70马力驾驶室结构图

1—左、右下横梁　2—左、右中横梁　3—龙门梁　4—左、右前立柱　5—前上横梁　6—后上横梁　7—左、右上边梁　8—中立柱　9—左、右后立柱　10—左、右下弧形梁　11—门槛梁

4）锯切弯管：采用该工艺加工的管件有左、右前立柱，前上横梁，龙门梁，上边梁，下弧形梁，左、右中横梁，左、右下横梁，门槛梁等弯管。

5）激光切管：采用该工艺加工的管件有左、右前立柱，前上横梁，上边梁，左、右下横梁，门槛梁，即与前立柱有型面搭接的管件。

6）在直管和弯管上钻孔。

（3）典型零件的加工

1）前立柱。前立柱在框架驾驶室中外形设计是左右对称的，如图4-61a所示零件为前立柱，材料为低合金结构钢Q345，管材规格为“8”字异型管（见图4-61b）。从图4-61b可以看出，异型管截面设计为对称管件，截面中两“V”型槽分别为驾驶室左右门和前窗装配配合工作面使用，其余为管件的非工作面，主要为外观使用。该零件包含了弯管和弯管后的锯切及钻孔等成形工艺，由于截面复杂，其弯管工艺较为困难，后续锯切和钻孔工艺难度系数也随之增加，但主要为弯管的成形难度较大。

图4-61　前立柱

a）结构图　b）截面图

① 弯管工艺分析。该管件设计为大曲率半径的弧度弯管，目前行业上可使用设备有滚弯机和弯管机，成形工艺有滚弯和推弯两种，两种成形工艺的原理是没有区别的，基本原理都是管件在推力或其他辅助力的作用下通过一组可以调节曲率半径的滚轮组成的弯管模具来完成弯曲成形的。

② 设备选择。加工该零件，一拖公司选用的成形设备为四轴伺服电动机驱动的数控弯管机（见图 4-62），通过送料轴和弯管轴的联动来实现管件的成形。

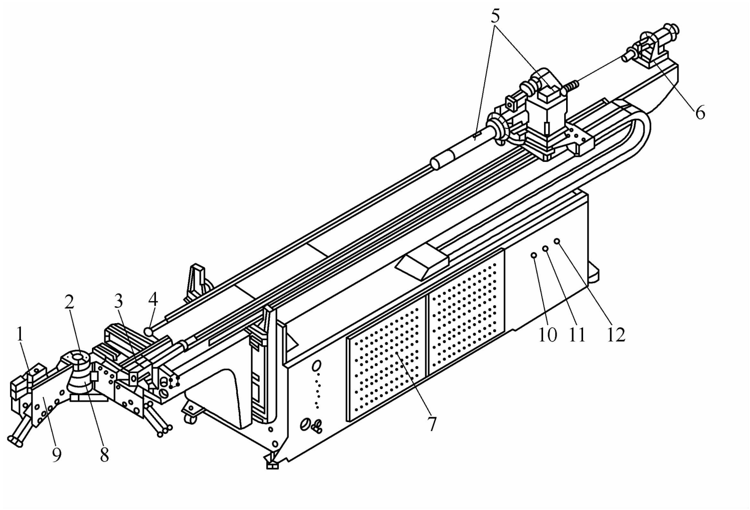


图 4-62　数控弯管机

1—夹模机构　2—机头机座　3—导模机构（辅推）　4—管支撑　5—送料座　6—穿芯机构　7—液压系统　8—机头整体机构　9—曲臂机构　10—停止开关　11—起吊开关　12—电源

该钢管的推卷成形使用的设备是台湾制造的 TBRE 系列的双层模具 CNC 数控弯管机。TBRE 系列为触控式双层模设备，四轴 Y（送料）、B（转管）、C（弯管）及 X（机头左右换模轴）运动均为电气伺服电动机驱动，可以最大限度保证设备四轴运动绝对精度和重复精度。

图 4-63 所示 Y、B、C、X 四轴为伺服电气控制，从而可以有效地完成三维空间管件的成形。四轴具体说明如下：

Y 轴为第一弯尾端到下一弯前端的送料距离。+表示前移，-表示后移。

B 轴为第一弯与第二弯之间的角度。+表示旋转方向为顺时针方向，-表示旋转方向为逆时方向。

C 轴为管件弯曲的弯管角度。

X 轴为机头的左右平行移动，+表示机头内移，-表示机头外移，即模具向内或向外移动。

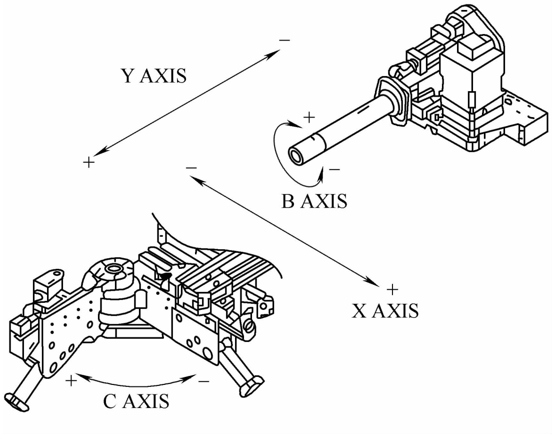


图 4-63　四轴伺服图

③ 模具结构及工作过程。“8”字异型钢管的弯管成形原理是利用弯管时曲臂机构（见图 4-62 中的部件 9）在不同角度时管件成形半径也有所不同而成形的，是借用弯管曲臂变化的角度形成多种弯曲半径而成形的，但此加工方式的被加工管件最小弯曲半径与管件半径之比最少为 6，具体还需根据管材材质和壁厚来确定。

图 4-64a 所示为“8”字异型钢管的推卷成形模具结构图，图 4-64b 为 $H—H$ 截面放大 1 倍的示意图。

“8”字异型钢管的推卷成形模具结构主要包括：弯管轮模 1、主轴 2、夹轮 3、销轴 4、夹轮座 5、机头曲臂 6、导轮座 7、机身 8、导轮 10；机头曲臂 6 上端安装有主轴 2，主轴 2 上安装弯管轮模 1，主轴 2 下端偏左侧安装有夹轮座 5，夹轮 3 通过销轴 4 安装在夹轮座 5 中，弯管轮模 1 可作平面旋转运动，夹轮 3 可作上下运动和平面旋转运动；机身 8 上安装导轮座 7，导轮 10 通过销轴 4 安装在导轮座 7 中，导轮 10 可作横向直线运动和平面旋转运动。夹轮 3 和导轮 10 结构相同。

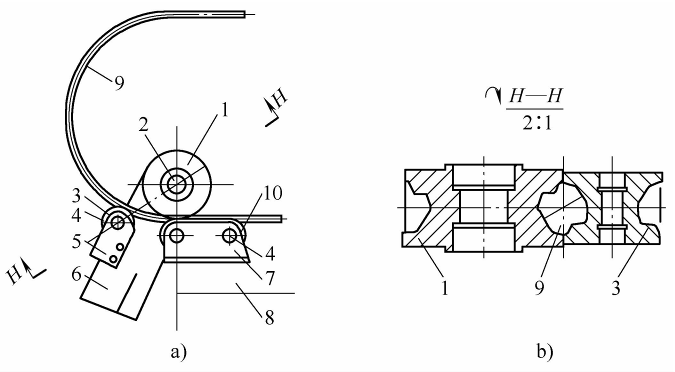


图 4-64　“8”字异型钢管推卷成形模具结构图

1—弯管轮模　2—主轴　3—夹轮　4—销轴　5—夹轮座　6—机头曲臂　7—导轮座　8—机身　9—异型管　10—导轮

在实际加工过程中，异型管 9 是在管件旋转某一角度后进行分模设计的，由轮模 1 和夹轮 3、导轮 10 共同形成异型管 9 模具型腔，从而完成异型管 9 的门弧度和前窗弧度共同组合成的空间复合成形弧度的弯曲成形。

工作时：异型管 9 上料后，弯管轮模 1 和夹轮 3、导轮 10 形成模具区域装夹异型管 9，在模具后方有送料小车，其上有管夹装置夹持异型管 9 的尾端，保证异型管 9 在模具装夹过程中的位置正确；成形中由送料小车推动异型管 9 通过弯管轮模 1、夹轮 3 和导轮 10 的模具区域，成形弧度的形成：由弯管轮模 1 和夹轮 3 所在的机头曲臂 6 绕主轴 2 旋转一定角度，与导轮 10 形成一定夹角，最终完成异型管 9 的复合空间成形弧度，其中夹角的大小是可以调整的。

因为弯管过程中管件要通过弯管模具，若是管件未被清洁而直接在设备和工装上使用，将会造成模具的拉痕、管件的划伤等，因此在弯管前一定要采取合适的工艺保证管腔内外的清洁，一拖公司采用的是酸洗工艺。由于管件截面复杂，在装夹和成形加工时或弯管后的锯切和钻孔时，需要制作合适的工装来保证管件在加工过程中的位置正确。因此，前立柱的工艺流程为：毛坯采购→锯切下料→酸洗→数控推弯成形→端头锯切→钻孔→成品入库。

2）龙门梁。如图 4-65 所示的零件为龙门梁，材料为碳素结构钢 Q235，管材规格为 J40mm × 20mm × 3mm（图 4-65b 为该零件管材截面）。该管件由五弯组成，其弯曲半径一致，中间直线段大于模具夹持段，零件设计工艺可行性较优，充分体现了“多弯一模”的设计理念，即采用一层模具进行拉弯弯管，可以节省大量的辅助时间（如换模），有效提升生产效率和管件品质。但若矩形管毛坯中相邻 90°两个面的夹角不好（即毛坯的截面为平行四边形或

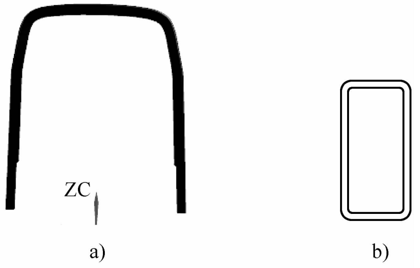


图 4-65　龙门梁

a）结构图　b）截面图

不规则四边形）容易造成弯管后管件扭曲引发后续装配困难。

工艺流程：毛坯采购→锯切下料→酸洗→数控拉弯成形→端头锯切→钻孔→成品入库。

3）前上横梁。如图 4-66 所示零件为前上横梁，该零件材料为碳素结构钢 Q235，采用矩形管 J100mm × 40mm × 4mm。

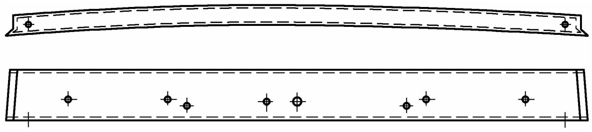
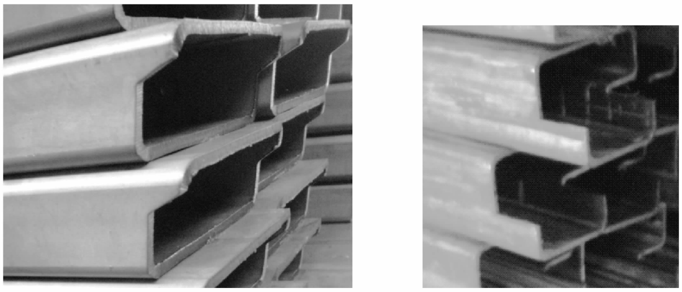


图 4-66　前上横梁

弯管工艺分析：该零件在设计上属于大曲率半径的弯管加工，并且设计有管件搭接的型面加工、100 弧面上孔的加工和 40 面上孔的加工。因为管件两端的型面是在弯管成形后才可以加工的，而且管件上需要加工的孔较多，因此工艺复杂系数高。

该零件的弧度弦高尺寸较大，管件较长，因此不推荐使用冲压设备压弯成形，因为在压弯后管件会出现严重的外观变形，即产生凹陷等，这里使用的是数控弯管设备推弯成形工艺，生产效率较高，外观顺滑，产品一致性较好。所以，其弯管工艺与图 4-61 所示前立柱的弯管工艺相似，弯管弧度半径远远大于管件直径的 6 倍，因此采用的弯管工艺为推弯成形；在成形后使用的是最新工艺管件激光切割设备来完成两端面的型面加工；因为该零件要求的孔较多，因此在批量生产中制作工装夹具来保证管件钻孔位置的一致性和钻孔的加工精度是最佳选择。

端头切割分析：该零件在管件激光切割设备引入之前，生产中采用的是铣削加工工艺。在实际生产过程中，由于铣削属于半精加工，虽然加工精度较高，外观质量好，但由于切削加工效率低下，与弯管节拍极不匹配，需要留存大量的中间在制品，而且零件加工周期长，因此一拖公司选用了最新切割工艺方式，即激光切割与工业机器人的组合，通过工装的装夹保证来实现管件的端头切割，使用后切割效率比铣削效率提升了 6 倍左右，生产效率大大提升，基本可与弯管节拍相匹配。端头激光切割和端头铣削的效果如图 4-67 所示。



a)　　b)

图 4-67　端头切割

a）端头激光切割　b）端头铣削

（4）左、右下横梁　图 4-68 所示零件设计上为矩形管结构，零件长度较短（总长 < 400mm），左右两端头均有管件搭接所需的型面，该零件在上下方向有弦高 4mm 的弧度要求，并设计有两个安装连接孔。由于管件短小，弧度弦高小，考虑生产效率和产品质量的保证，并结合一拖公司的冲压能力选择冲压成形来加工该零件，压弯模具如图 4-69 所示。两端面型面的加工，选择铣削或激光切割。在考虑工序的前后顺序安排时，因为管件在直管时

铣削工艺简单，定位装夹容易实现，尺寸容易保证，因此选择在冲压弧度成形之前进行管件的铣削加工，而孔加工由于工艺简单，故选择在冲压加工后进行。

故该零件的工艺流程为：毛坯采购→锯切下料→酸洗→端头型面铣削→冲压压弯成形→钻孔→成品入库。

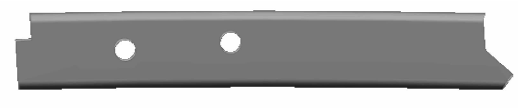


图 4-68　下横梁

2. 工程机械驾驶室

如图 4-70 所示，工程驾驶室与农机驾驶室结构组成基本相同，只是构成骨架的结构管件的截面及尺寸、规格不同，成形的曲率半径不同，但框架驾驶室的六部分框架组成分类是一致的，成形工艺也基本相同。

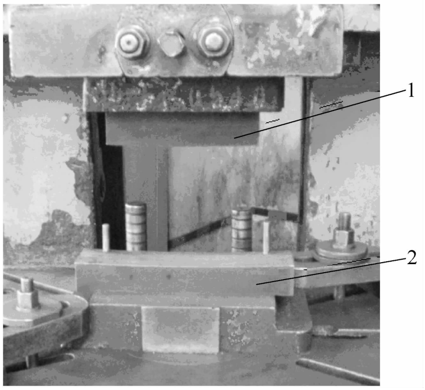


图 4-69　冲压压弯

1—上压模　2—下压模

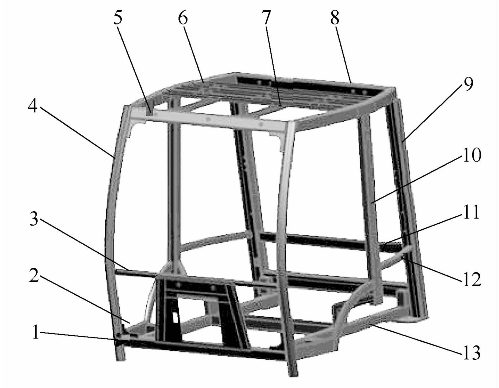


图 4-70　工程驾驶室

1—前下横梁　2—门槛梁　3—前中横梁　4—前立柱　5—前上横梁　6—上边梁　7—顶上横梁　8—后上横梁　9—后立柱　10—中立柱　11—后下横梁　12—侧弯梁　13—地板纵梁

4.6.2　安全架类生产

1. 安全架的管件构成

图 4-71 所示的零件为 70-90 安全架，其结构管件主要由左、右立柱，上框架和长、短横梁组成。

2. 70-90 安全架管件成形工艺

根据每个管件的结构特点，使用的成形工艺方式可以分为以下几类：

（1）数控弯管采用该工艺加工的管件有上框架、6 弯弯管。

（2）冲压弯管采用该工艺加工的管件有左、右立柱。成形 S 弯。

（3）锯切直管采用该工艺加工的管件有中间连接长、短横梁。主要为毛坯下料工序。

（4）锯切弯管采用该工艺加工的管件有上框架，左、右前

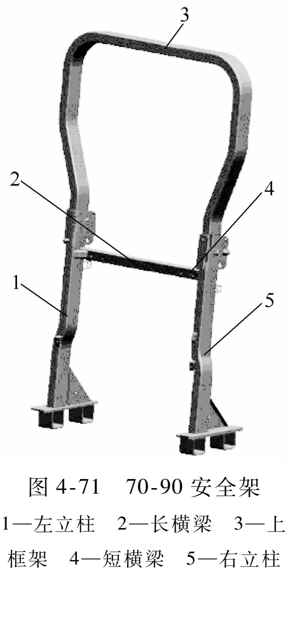


图 4-71　70-90 安全架

1—左立柱　2—长横梁　3—上框架　4—短横梁　5—右立柱

立柱。弯管后工艺余料去除及切割斜角。

（5）冲孔直管采用该工艺加工的管件中间连接长、短横梁。一般管材上的圆孔可采用冲孔加工。

（6）在直管和弯管上钻孔采用该成形工艺加工的管件有左、右立柱，中间连接长横梁。不能冲裁的孔一般采用钻孔加工。

3. 典型零件的加工工艺流程

（1）上框架　如图 4-72 所示零件为上框架，材料为低合金结构钢 Q345，管材规格为 J100 ×60 ×4（见图 4-72a 中的 A—A 截面）。该管件由六弯组成，其弯曲半径一致，中间直线段大于模具夹持段，零件设计工艺可行性较优，可使用一层模具进行拉弯弯管，但管件总体较长，管件内腔若不清洁则容易将管件穿芯卡死，废品率上升。若矩形管毛坯中相邻 90°的两面夹角不好（即毛坯的截面为平行四形边或菱形或不规则四边形）容易造成弯管后管件扭曲引发后续装配困难。

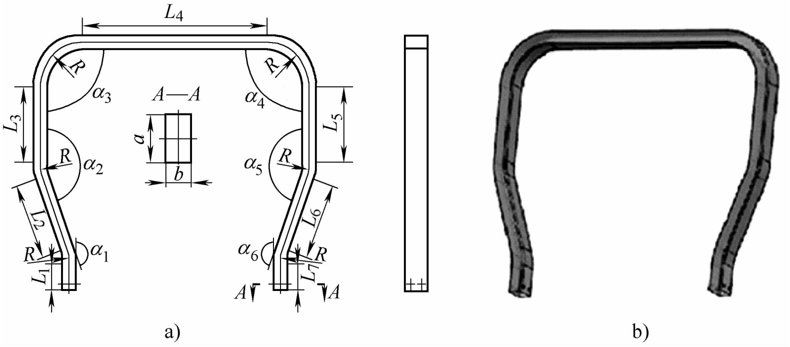


图 4-72　上框架

a）零件图　b）轴测图

工艺流程：毛坯采购→锯切下料→钻孔→酸洗→数控拉弯成形→端头锯切→成品入库。

各工序成形尺寸如下：

1）锯切毛坯。毛坯尺寸的计算：如图 4-72a 所示管件，管件弯曲半径为 R，管件共弯曲 6 段，各弯管段直线段分别为 L_1，L_2，L_3，L_4，L_5，L_6，L_7，每段弯管弯曲夹角分别为 α_1，α_2，α_3，α_4，α_5，α_6 所对应的圆弧长度为：

第一弯长：$A_1 = 0.0174532 \times R \times (180 - \alpha_1)$。

第二弯长：$A_2 = 0.0174532 \times R \times (180 - \alpha_2)$。

第三弯长：$A_3 = 0.0174532 \times R \times \alpha_3$。

第四弯长：$A_4 = 0.0174532 \times R \times \alpha_4$。

第五弯长：$A_5 = 0.0174532 \times R \times (180 - \alpha_5)$。

第六弯长：$A_6 = 0.0174532 \times R \times (180 - \alpha_6)$。

毛坯的总长度 L_{min} 按照管件截面中心计算，为各弯曲弧段长度与中间直线段长度之和，即：

$$L_{min} = L_1 + A_1 + L_2 + A_2 + L_3 + A_3 + L_4 + A_4 + L_5 + A_5 + L_6 + A_6 + L_7$$

其中 L_{min} 为按照图样计算管件理论毛坯下料长度，而在实际操作中还应考虑到管件在模具中前端夹持长度是否符合管件毛坯截面最大直径的 2.5 ~3 倍的长度，这里由于设计管端

直线度长度小于夹持长度，因而毛坯的下料长度还应增加前后端多余的那部分夹持长度。

该工序采用锯切方式下料。毛坯尺寸如图 4-73 所示。

2）钻孔。使用摇臂钻加工 4 个工艺塞焊孔（见图 4-74）。

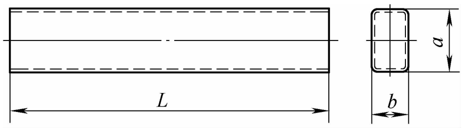


图 4-73　毛坯图

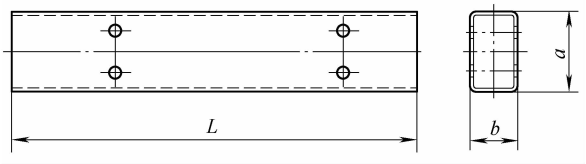


图 4-74　钻孔图

3）拉弯成形。在数控弯管机上将管坯拉弯，操作顺序为：安装模具→微调程序→上料→拉弯→下料。拉弯后零件如图 4-75 所示。

拉弯的模具结构如图 4-76 所示，基本组成有轮模 1，穿芯 2，后导模 3，后导模座 4，穿芯拉杆 5，导模 6，导模座 7，夹模座 8 和夹模 9，下面对其设计与工艺进行介绍。

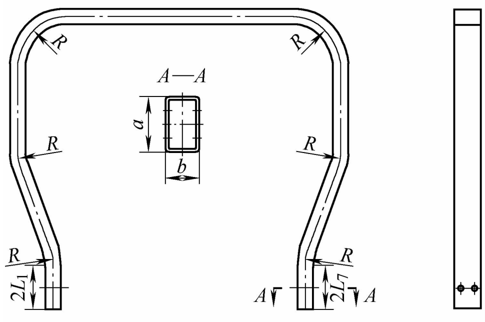


图 4-75　拉弯后尺寸

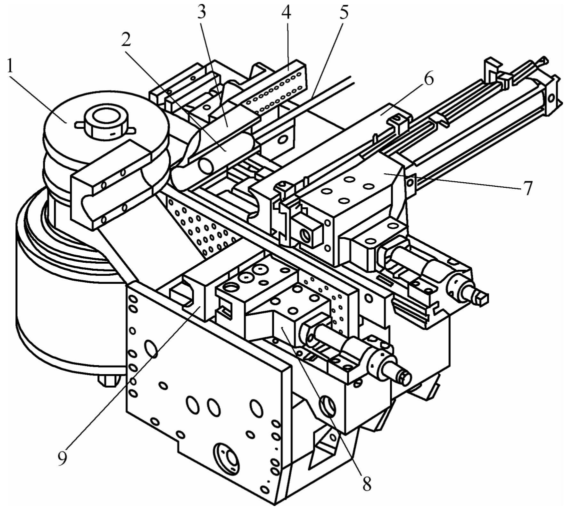


图 4-76　拉弯模具结构图

1—轮模　2—穿芯　3—后导模　4—后导模座

5—穿芯拉杆　6—导模　7—导模座

8—夹模座　9—夹模

① 轮模。弯管轮模如图 4-77 所示，当所弯管件规格（管件外径、壁厚、弯曲半径、屈服强度，这四项简称四要素）确定以后，设计弯曲轮模时一般要考虑管材的回弹因素，以确定模具的弯曲半径 R'，其计算公式为：

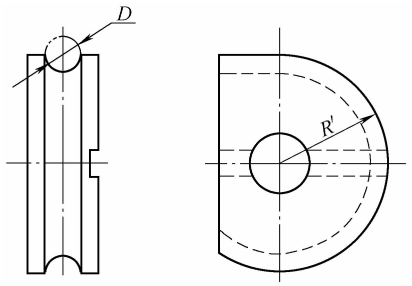


图 4-77　弯管轮模

$$R' = \frac{R}{1 + 2m\dfrac{R_{eL}}{E}R_x}$$

式中　R——管件弯曲半径，即回弹后弯曲半径（mm）；

R_{eL}——管件的下屈服强度（N/mm^2）；

E——管件弹性模量（N/mm^2）；

R_x——相对弯曲半径，$R_x = R/D$，D 为管件外径（mm）；

m——$m = K_1 + K_0/2R_x$，K_1 为管材截面形状系数，K_0 为钢材的相对强化系数。

经计算所得 R'圆整后，可作为设计参数使用。通常为方便起见，当 $R_x = 2 \sim 10$ 时，还可以按下列经验公式确定：

弯曲合金钢管时：$R' \approx 0.94R$；

当 $R_x \leqslant 1.5$ 时，可不考虑弯曲回弹。

② 夹模。弯管夹模如图 4-78 所示，夹模钳口的设计主要取决于管件上相连的两个弯头的最小直线距离，即夹模钳口长度 L 的设计，L 尺寸过小，则不能夹紧管件，弯曲时管件易打滑，损伤外观，影响弯曲角度。反之，L 尺寸过大，当夹持管件时，有可能将已成形的前一弯头夹变形，这在弯管工艺中是不允许的，所以 L 的尺寸要适当选择。通常，可按经验公式确定该尺寸，即

$$L = (2 \sim 3)D$$

夹模钳口夹持管件的松紧度一般是由现场操作经验来决定的。夹持管件过紧，管件外壁则会出现夹模的压痕；夹持管件过松，管件又容易打滑；两者都会影响弯管的外观质量。一般试弯管件后需调整到最佳夹持状态才可以。

③ 导模。导模如图 4-79 所示，根据所弯管件规格的不同，导模的速度可自行调节，比如，导模速度大于轮模速度；导模速度等于轮模速度；导模速度小于轮模速度，直至能弯制出理想的管件。

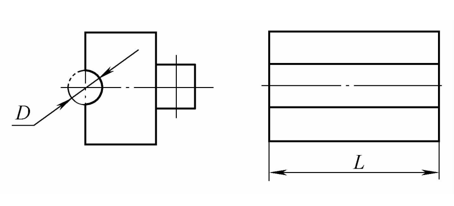


图 4-78　夹模

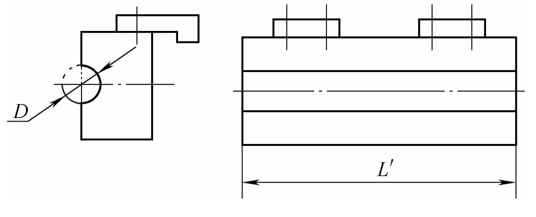


图 4-79　导模

导模压紧力的大小一般由经验确定，若压紧力过小，容易引起管件内壁起皱；反之，压紧力过大，则管件外壁减薄明显。都会影响弯管质量，一般经试弯管件后，必须将其调整至适当状态。

导模的长度 L'不易过大，尤其在数控弯管机中，L'过长，会引起最后直线段部分的送料不到位而使运行中的弯管机停机，在弯管工艺中是不允许的。通常情况下，L'可按下列经验公式计算：

$$L' = \frac{2\pi R}{360}\alpha + 1.6D$$

式中　α——所弯管件的最大弯曲角度。

④ 穿芯。如前所述，有芯弯管所采用的芯头形式通常有圆头式、尖头式、勺形式、单向关节式、软轴式、万向关节式等。在弯管过程中，无论采用何种形式的穿芯，都能起到防扁、矫正作用。当然，所选的穿芯形式不一样，弯管质量也不尽相同。一般情况下，穿芯形

式的选择要根据管件规格及所弯管件相邻两弯头之间的直线距离等条件来确定，以达到既能满足弯管要求，又便于调整的目的。

穿芯的工艺尺寸：当管件规格确定以后，穿芯的直径一般由经验确定，原则是应保证芯轴在管子内有一定的自由滑动间隙，该间隙一般为管子壁厚的9%～12%，该间隙不能过大，过大会使内壁起皱，变形增大；反之，则会造成外壁减薄或断裂等缺陷。

穿芯的超前量 e：芯轴的超前量 e 直接影响弯管质量，应在批量弯管开始前就调试确定。一般的规律是，弯曲半径越小，超前量越小；弯曲半径越大，则超前量越大。超前量 e 可按下式计算：

$$e=\sqrt{2(R+d_0/2)x-x_0^2}$$

式中　d_0——管子内径；

　　x——管子内壁与芯轴间的间隙。

超前量确定后，一般经微调后即可进行批量弯管，并能保证弯管质量。

有芯弯管除应注意上述模具及工艺外，管件弯曲前必须将管内壁的氧化渣、锈蚀等杂物清除干净，使芯轴能顺利地通过管内径。若所弯管件为电焊钢管，则要在芯轴上设计一道长槽，以使焊缝能顺利通过，弯曲时，尽可能使焊缝朝上，避开弯曲平面，以免使管件破裂。同时，为保证弯管质量，正确的润滑是必不可少的，通常采用涂油润滑或喷油芯轴两种方式。

4）端头锯切。调整刀具与零件的位置，依次锯切弯管两端面。端头的余量采用锯切的方式切除，零件最后完成。

5）打磨。使用风动砂轮机打磨弯管表面的夹杂、划痕和锯切形成的管端毛刺，保证型面外表光滑、端面无毛刺。

（2）左、右下立柱　图4-80所示零件为左、右下立柱，两个零件左右对称，材料为冷弯型钢Q345A，规格为J100×60×4。该零件为典型的S形弯管，由于两段弧段之间无可夹持弯管直线段，若使用弯管机则需使用两层模具进行弯管，即一层拉弯，一层成形夹拉弯，所以该零件需要使用具有两层模具的弯管设备来成形，否则生产效率低下，中间在制品增

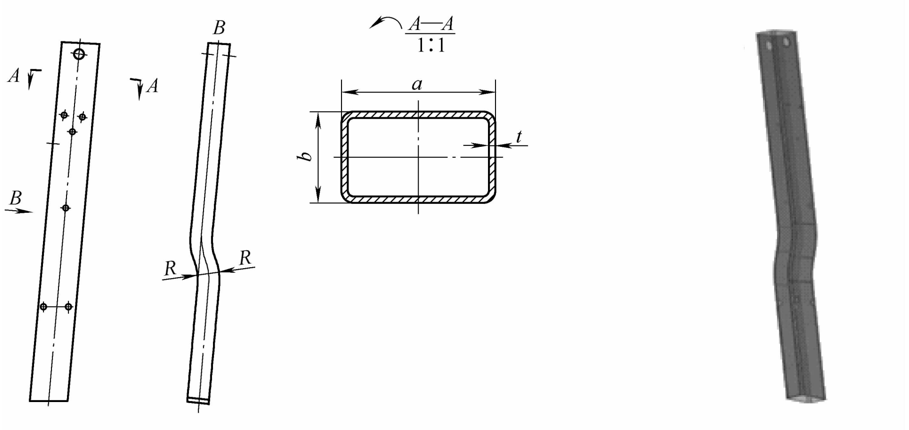


图4-80　左、右下立柱

a）零件图　b）轴测图

加。又该零件 S 型弯的两平行直线管段的层高为 30mm，经分析和实际弯管可知，该管件可以采用冲压上下成形模来实现弯管，这样可以减少弯管设备的投入，通过利用一拖公司冲压设备优势，降低生产成本，提升了生产效率。

工艺流程：毛坯采购→锯切下料→酸洗→冲压冲孔→冲压压弯成形→端头锯切→钻孔→成品入库。

各工序成形尺寸如下：

1）锯切毛坯。参考上框架毛坯计算方法可得出毛坯下料长度，但由于管件成形工艺为冲压，其伸长量暂无规律可查，因此实际下料长度需增加一定的工艺锯切余量，以保证成形后的锯切尺寸正确。一般锯切余量取 10～20mm，毛坯展开长度为 L，采用锯切方式下料。毛坯尺寸如图 4-81 所示。

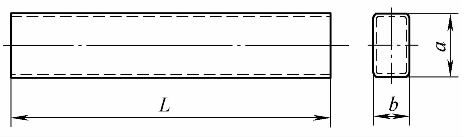


图 4-81　毛坯尺寸

2）冲孔。如图 4-82 所示，管件的上端距离边缘 L_1 处设计为一通孔 ϕD，传统加工方式会考虑钻削金属加工方式，但一拖公司经过充分的分析和研究，利用冲压设备的有利资源，设计制作了可冲通孔的冲压模具来解决端头孔的加工，如图 4-83 所示为双面孔冲裁模具图。

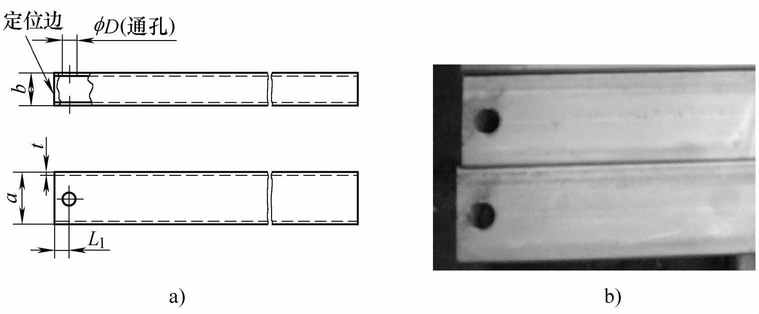


图 4-82　冲孔

a）冲孔尺寸　b）冲孔零件

从模具结构设计可以知道，为了减少管壁在冲裁过程中受到力产生的变形和凹陷，必须在管内壁装支撑和凹模，因此设计了内芯定位块 14，并在其上安装了凹模 13，内芯定位块 14 通过内六角螺钉和销子固定在下固定板 2 上，内芯定位块 14 设计为台阶型，台阶高度差为壁厚 + 间隙值 0.2mm，当管件套入内芯后，触到内芯定位块 14 上台阶作为限位来保证管件的冲孔位置尺寸；凸模 12 是由上固定板 8 紧固在上模板 7 上的，当凸模 12 下行冲到管件，内芯定位块 14 及其上的凹模 13 起到支撑管件的作用，避免管件产生凹陷和变形。

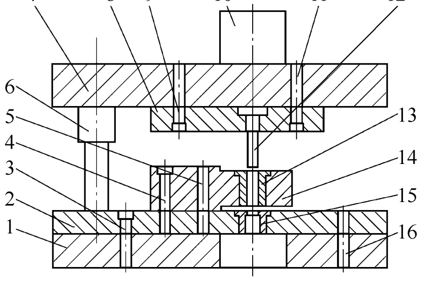


图 4-83　双面孔冲孔模具图

1—下模板　2—下固定板　3—内六角头螺钉　4—内六角头螺钉　5—圆柱销　6—导模导套　7—上模板　8—上固定板　9—内六角头螺钉　10—模柄　11—圆柱销　12—凸模　13—凹模　14—内芯定位块　15—凹模　16—圆柱销

由于是通孔加工，双面孔冲裁模具是在内芯定位块 14 和下固定板 2 上同时设计了凹模 13 和凹模

15 来保证通孔的冲裁，此模具设计解决了通孔冲裁的同轴度精度问题，且在一定程度上比单面冲裁模具提高了近一倍的生产效率。从模具设计思路上可以知道，双面孔冲裁主要问题是要解决凸模 12 在通过凹模 13 首次冲孔落下的废料如何准确通过凹模 15 的刀口而不被夹住，设计上就考虑了凹模 13 的刀口（无废料孔）和凹模 15 的刀口尺寸保持一致，这样既保证了首次冲孔落下的废料能够从凹模 15 的刀口准确通过而不被夹住，又保证了冲孔的尺寸精度和位置精度。

此矩形管冲孔的关键在于内芯定位块 14 的受力状态分析，由于是悬臂梁结构，在冲孔过程中，内芯定位块受到剪切力和弯曲力的共同作用。为了尽量降低内芯定位块的变形和弯曲，增加内芯定位块 14 的强度，提高耐用度，其淬火硬度一般取 HRC45 以上。

冲孔前首先检查定位端头有无毛刺，确保定位端无毛刺后将管件定位边定位，然后在 JB23-63 型压力机上完成冲孔。

经大量的生产实践证明，按照上述论述方法所设计制作并应用于生产的矩形管冲裁模具在设计上具有结构简单、坚实耐用的特点，不仅能够很好地保证产品质量，而且大幅度提高了生产效率，降低了人工生产成本，为管件通孔加工工艺的革新奠定了坚实的理论基础，积累了实践经验。

3）压弯成形。在冲压设备上进行压弯，压弯后零件如图 4-84 所示。

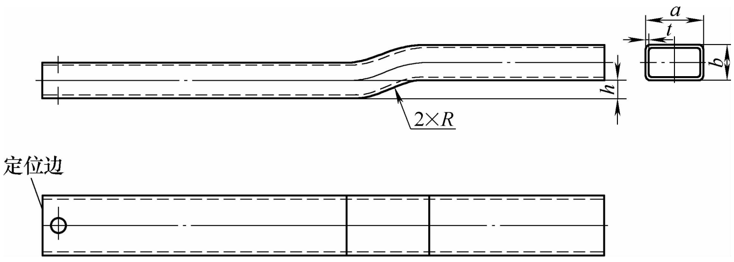


图 4-84　压弯工件示意图

4）端头锯切。使用锯切工装，以冲压孔为定位，锯切下端角 θ 斜面。端头锯切后的工件如图 4-85 所示。

5）钻孔。使用钻孔工装，以零件毛坯孔和外形定位钻通孔和螺纹底孔，然后调整使刀具与螺纹底孔重合，使用气动攻丝机依次钻攻螺纹。钻孔后工件如图 4-86 所示。

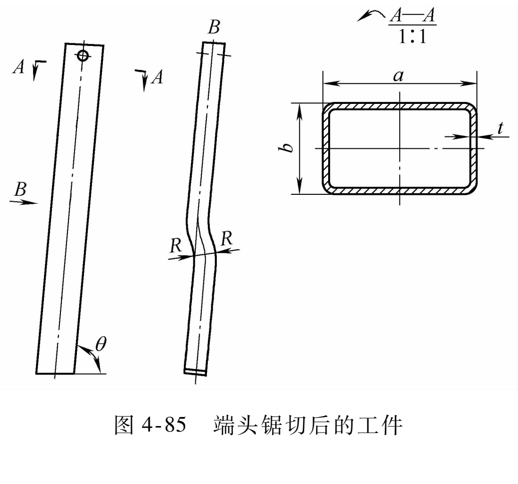


图 4-85　端头锯切后的工件

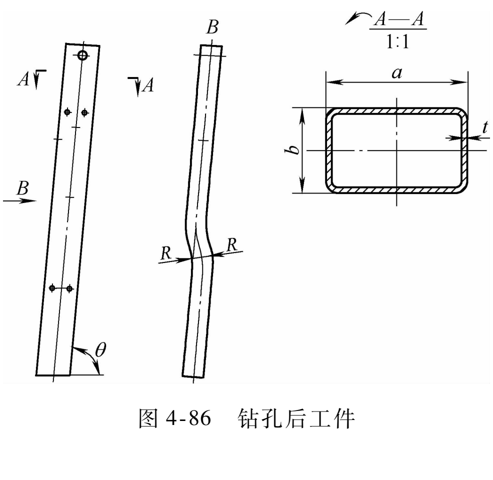


图 4-86　钻孔后工件

4.7 弯管加工新工艺

1. 自由弯曲弯管新工艺

自由弯曲的弯管新工艺主要应用于汽车行业。其工艺原理如图 4-87 所示。弯曲主要由 Z 方向的进给通过导向模和弯曲模完成，而弯曲模通过一个球轴承和导向模相连。弯管时，只需通过交流伺服电动机改变球轴承的 X、Y 轴方向即可。自由弯曲弯管工艺具有许多优点，如具有快速的弯曲速度，即使在只有很少过渡量的多个弯或螺旋形弯曲的情况下也不需重新装夹管件即可完全按照自定义弯曲几何形状而成形等。而且其特别适合弯曲型材和管材，这使自由弯曲更加适用于汽车弯管零部件的制造。

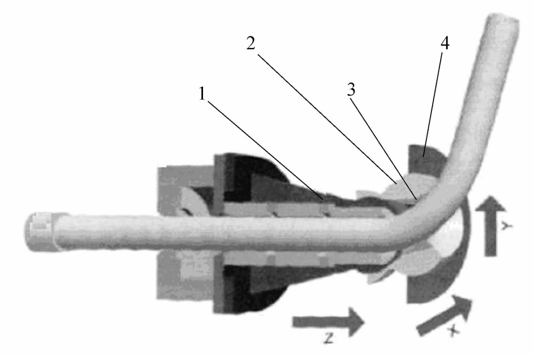


图 4-87　自由弯曲弯管工艺原理示意图

1—导向模　2—弯曲模　3—陶瓷或碳化物镶块　4—球轴承

2. 零半径弯管工艺

在制造空调装置、热水装置等的热交换器时，由于配管空间的限制，希望弯管的弯曲半径越小越好。近几年，利用弯曲加工与液压相结合的方法成功地开发出了弯曲半径为零的弯管加工技术。如图 4-88 所示，模具由上模 2、下模 3 组成，在上、下模内插入钢管，管内施加内压 P，上、下模具在推力 W 的作用下相对移动，使钢管产生零半径弯曲。为了防止弯曲变形时产生局部断裂，在钢管的两端施加压力 F。选择适宜的内压力 P、压力 F 和模具移动力 W，有利于减少钢管弯曲成形过程中产生缺陷的可能性，从而得到成形优质的弯管。

3. 中频感应热弯曲弯管工艺

中频弯管和火焰弯管是一种加热、弯曲及冷却连续进行的弯管过程，属于热弯工艺。中频弯管是将中频感应圈套在管坯上，依靠中频感应电流，将管坯局部加热到所需高温随即对加热部分进行弯曲，并在弯曲后紧接着喷水冷却，从而获得所需的弯管件。中频弯管需用中频感应电热弯管机等专门设备。根据弯管机施加弯矩的方法不同，又分为拉弯式和推弯式两种（见图 4-89 和图 4-90）。

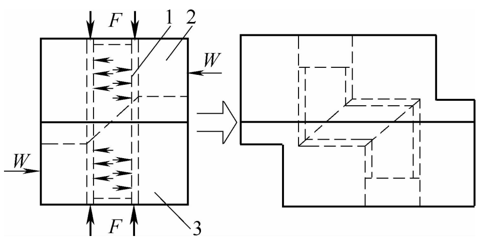


图 4-88　零半径弯管工艺示意图

1—管坯　2—上模　3—下模

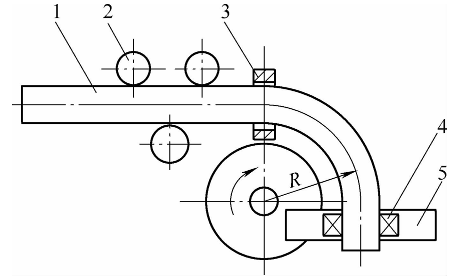


图 4-89　拉弯式中频弯管示意图

1—管坯　2—支撑滚轮　3—感应圈　4—夹头　5—转臂

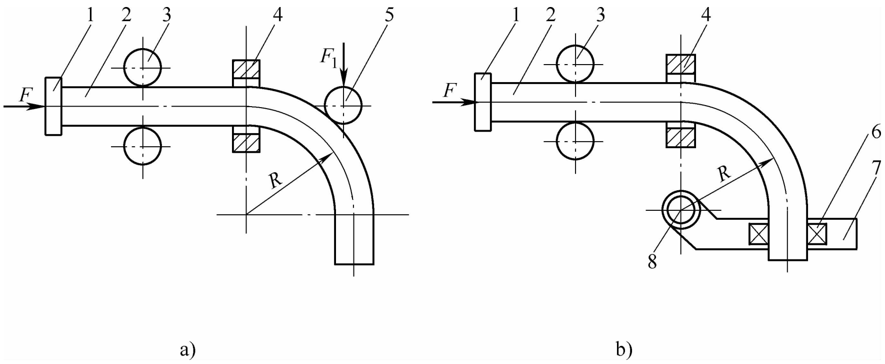


图 4-90　推弯式中频弯管示意图

1—推力挡板　2—管坯　3—支撑滚轮　4—感应圈　5—顶轮　6—夹头　7—转臂　8—轴

4. 热应力弯曲弯管工艺

热应力弯曲弯管工艺是一种利用工件内部温度分布不均匀所产生的热应力来驱动工件变形的特殊的成形方法，具有无外力、无模具、便于现场操作等优点。通常产生热应力的方法是对工件进行局部加热或冷却。加热方式包括火焰局部加热和加热炉内整体加热；冷却方式包括空冷、喷水冷却及浸水冷却。具体采用哪种方法，应根据实际加工条件及工件特征选择。北京机电研究所曾对管的热应力弯曲进行了相关研究，设计出一种炉内整体加热后浸水冷却的方案，能够获得较好的弯曲效果。它是先将管子整体加热到一定的高温，然后以一定速度水平浸入水中，管件完全冷却后，最终凹向后入水的一侧。

5. 激光成形弯管

激光成形弯管是一种利用激光束照射材料表面时形成的内部非均匀热应力场来实现材料成形的新技术。激光弯曲成形技术实质上是基于材料热胀冷缩特性，通过改变加热参数获得合理的温度分布，从而控制材料内部产生的热应力的大小及方向，使材料的塑性变形朝着预定的方向发展并最终产生所需的变形大小的成形方法。其变形机理很复杂，往往是好几种机理的混合。目前，许多国内外学者对激光热成形的具体机理做了大量的研究工作，总结起来主要有三种变形机理，即温度梯度机理（TGM）、屈曲机理（BM）和增厚机理（UM），如图 4-91 所示。

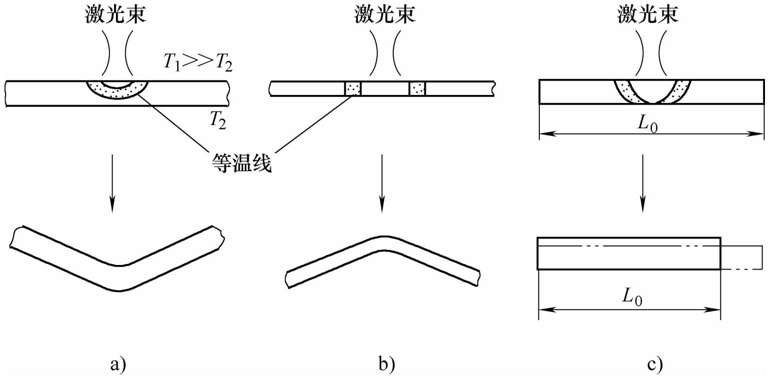


图 4-91　激光弯曲成形机理示意图

a）温度梯度机理　b）屈曲机理　c）增厚机理

激光成形弯管时，通过调整激光加工工艺参数和选择合适的扫描轨迹就能成形任意形状的弯曲管件，它的显著优点如下：

1）无模成形，生产周期短，柔性大，特别适合批量小的大型零件生产。

2）非接触式成形，变形件无外力作用，不产尘回弹变形和由此带来的其他问题。

3）属热态成形，总变形由多次扫描累积而成，故能够成形在常温下不易成形的难变形材料。

激光加工是一种柔性制造，在加工过程中工件与激光束没有接触式机械作用；是一种直接的 NI 方式，能直接从工件上去除材料而形成零件形状，保持高精度和整个加工过程自动化；激光加工适合成形硬质合金、钛合金和镍合金等难加工的材料；具有微机械加工的能力。由于具有以上优点，激光加工目前已在激光切割、激光焊接、激光打标、激光表面改性处理、激光打孔等方面有了广泛的应用。随着激光加工技术的不断发展，激光加工所具有的高度的柔性、应用的广泛性和强的渗透性引起了众多学者的极大兴趣，竞相在一些传统技术中引入激光技术。

参 考 文 献

[1]　王同海．管材塑性加工技术［M］．北京：机械工业出版社，1998.

[2]　罗时荣．薄壁管变曲率推弯工艺的研究［D］．广州：广东工业大学，2009.

[3]　袁桂平．管材激光成形过程的数值模拟及工艺优化研究［D］．济南：山东大学，2007.

[4]　王孝培．实用冲压技术手册［M］．北京：机械工业出版社，2002.

第 5 章　农业机械钣金件制作技术

5.1　概述

钣金至今为止尚未有一个比较完整的定义，根据国外某专业期刊上的一则定义可以将其定义为：钣金是针对金属薄板（通常在 6mm 以下）的一种综合冷加工工艺，包括剪、冲/切/复合、折、焊接、铆接、拼接、成形（如汽车车身）等。其显著的特征就是同一零件厚度一致。现代汉语词典第 5 版的解释：动词，对钢板、铝板、铜板等金属板材进行加工。通常，钣金工厂最重要的三个步骤是剪、冲/切、折。

农用钣金技术是针对钣金生产前期未进行大批量生产过程或者试制生产中调整比较频繁时应用比较广泛的技术形式。它的对象是零件，包含零件从材料到成形过程中的工艺方式方法。

本章所讲钣金只针对农业钣金常用的工序型万能加工方式展开介绍，不包含冲压、焊接、铆接等加工方式。

5.2　钣金下料工艺

钣金下料是将原材料按需要切成零件毛坯的加工工艺。钣金下料的方法很多，按下料时材料变形的方式可分为机械切割、热熔切割和电火花线切割。机械切割包括剪切、铣切、冲切等方法；热熔切割包括等离子切割、火焰切割、激光切割和氧气切割等。在生产中可根据零件形状、尺寸、精度要求、材料的类型、生产数量以及现场设备条件情况来选择下料方法。

5.2.1　机械切割下料

机械切割是对板材进行粗加工的一种常用方法，属于冷切割。其实质是被加工的板材在剪刀挤压作用下发生剪切变形并产生分离的工艺过程。下面介绍几种常见的机械切割方法。

1. 板料剪切

剪切下料是利用上、下刀刃为直线的刀片或旋转滚刀片的剪切运动来剪裁板料毛坯。它通常是在剪切机或滚剪机上完成的。这种剪切方式要求材料不易过硬也不能太软，厚度不易过厚，一般在 12mm 以下，这些都要根据具体采用的设备来确定。另外剪切的零件不易过于窄长，否则零件会呈麻花状。剪切下料主要作为模具落料成形的准备工序，只能加工无孔无

切角的条料或块料。优点是成本低，精度低于 0.2mm。

2. 转塔冲落料

转塔冲落料就是借助转塔冲通过一系列圆冲头和方冲头，将复杂的零件外形冲切出来的方法。这种冲切手段一般配合冷轧板，因为对材料平面度要求高，一般在 3mm 以下，而且氧化皮会减少冲头寿命。冲切材料和厚度理论上要根据设备要求，实际中还要结合实际生产的需要。

3. 振动剪剪切下料

振动剪剪切属于手工加工范畴，通过人拿取零件在振动剪的剪切口移动来完成零件特殊形状的裁切。这种加工方式要求零件不能过大，首先要方便人拿取，板料不能太厚，一般在 2mm 以下，形状精度不高。

5.2.2　热熔切割下料

1. 等离子切割

等离子弧切割是一种新工艺，它利用气体介质通过电弧产生“等离子体”。等离子弧可以通过极大的电流，具有极高的温度，因其截面很小，能量高度集中，在喷嘴出口的温度可达 20000℃，可以进行高速切割。等离子弧割嘴如图 5-1 所示。由于等离子弧中的正离子和电子等各种带电粒子所带正、负电荷的数量相等，所示整个等离子弧呈中性。常用等离子弧的工作气体是氮、氩、氢，以及它们的混合气体，用得最多的、最广泛的是氮气。因为氮的成本低，化学性能不十分活跃。但氮气的纯度应不低于 99.5%。若其中的含氧或水汽量较多时，会使钨极严重烧损。

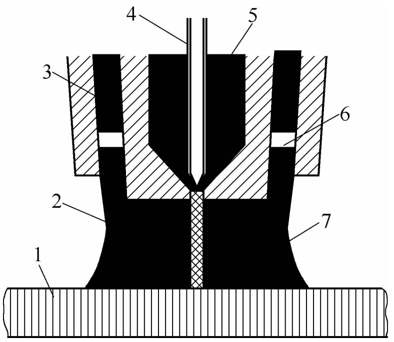


图 5-1　等离子弧割嘴

1—工件　2—弧芯　3—保护气体　4—电极　5—等离子气体　6—气体透镜　7—外部冷气层

目前等离子弧焊炬的基本结构有转移型、非转移型两种，如图 5-2 所示。切割金属用的等离子弧是转移型焊炬（见图 5-2b），可以切割各种用其他切割方式不能切割的高熔点金属，如不锈钢、耐热钢、钛、钼、钨、铜、铝、铁及其合金等。还可以切割各种非金属材料。在采用非转移型焊炬（见图 5-2a）时，由于工件不通电，所以还能切割各种非导电材料，如耐火砖、混凝土、花石等。

等离子切割具有稳定、可靠、轻便、节能、无噪声，切割速度快，割口光洁，无需打磨，而且可以用于切割复杂形状的零件。

2. 火焰切割

火焰切割（Flame Cutting）是最老的热切割方式，主要用于碳素钢和低碳钢的切割，其切割金属厚度从 1mm 到 1.2m。火焰切割是利用氧-乙炔气体火焰将被切割的金属预热到燃点后，再向此处喷射高压氧气流，达到燃点的金属在切割氧气流中燃烧，从而形成熔渣，并借助切割氧的吹力将熔渣吹掉，所放出的热量又进一步加热切割缝边的金属，再次达到燃点。所以移动割嘴即又重复了“预热→燃烧→吹渣”的过程，割嘴沿着划线方向均匀地移动，就形成了一条割缝。火焰切割过程如图 5-3 所示。

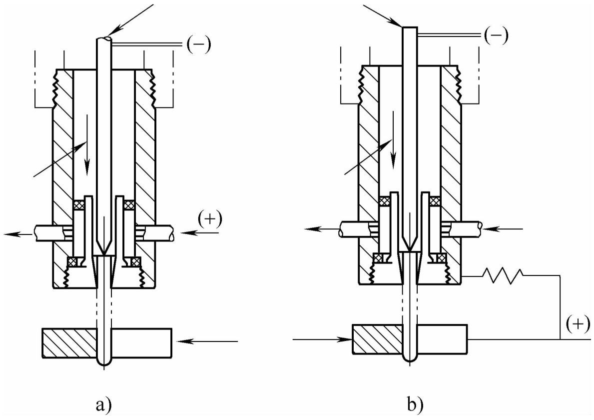


图 5-2　等离子弧焊炬
a）内部有一阳极的非转移型焊炬
b）以工件作为阳极的转移型焊炬

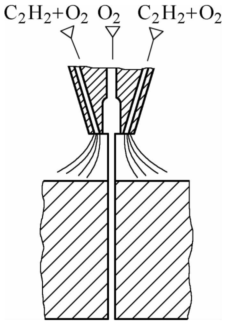


图 5-3　火焰切割示意图

该切割方法具有设备简单，操作方便，生产率较高，切割质量较好，成本较低等一系列优点，特别是可以切割厚度大、形状复杂的零件，所以成为金属加工中一种极为重要和有效的工艺方法，而被广泛地应用。在切割碳素钢，且钢板的厚度变化较大，对切割质量和精度要求不是很高，投资要求较少时，火焰切割最为适宜。如果对切割质量和精度有严格要求时，必须采用数控装置控制切割轨迹。但是在薄板切割方面有其不足之处。与等离子比较起来，火焰切割的热影响区要大得多，热变形也较大。为了使切割准确有效，操作人员需要拥有高超技术才能在切割过程中及时回避金属板的热变形。

进行火焰切割的必要条件：

1）燃点要低于熔点。这样才能保证金属在固体状态下燃烧掉，形成切口和割缝。如低碳钢的燃点约1350℃，而熔点约为1500℃，所以具备良好的气割条件。而铜、铝以及铸铁的燃点比熔点高，所以不能用普通氧气切割的方法。

2）金属氧化物的熔点要低于金属熔点。否则表面上的高熔点金属氧化物就会阻碍下层金属的连续燃烧，使气割发生困难。

3）燃烧应是放热反应。即要求是一个完全的燃烧过程，这样才能对下层金属起预热作用。放热量越多，预热作用越大，越有利于气割过程的顺利进行。在气割低碳钢时所需要的热量，其中金属燃烧所产生并供给的热量约占70%，而由预热火焰所供给的热量仅为30%。

4）导热性能不应太高。铜和铝等金属具有较好的导热性，使气割处的温度急剧下降。

5）阻碍切割过程的杂质要少。如碳、铬及硅等元素阻碍气割的正常进行。能满足气割条件的通常是碳的质量分数在0.3%～0.6%以下的低中碳钢。

不同金属的火焰切割性能见表5-1。

火焰切割方法有割炬切割和切割机切割两种。

（1）割炬切割　割炬又称火焰枪。采用的燃气不同，构造也不同。常用的是氧-乙炔火焰枪。乙炔压力为0.01～0.12MPa，氧气压力为0.50～1.0MPa。两种气体分别通过各自的通路在火焰枪内混合燃烧，喷出的火焰大小和性质可调节人工手持火焰枪进行切割，通常用于大管坯和板坯轧后的切断或用于钢材矫直后去除缺陷的补充切割。

表 5-1　不同金属的火焰切割性能

金　属	性　能
钢:碳的质量分数在 0.4% 以下	切割良好
钢:碳的质量分数在 0.4% ~0.5%	切割良好,为防止发生裂纹,应预热到 200℃,并且在切割之后要缓冷退火,退火温度应为 650℃
钢:碳的质量分数在 0.5% ~0.7%	切割良好,切割前必须预热至 700℃,切后应退火
钢:碳的质量分数在 0.7% 以上	不易切割
铸铁	不易切割
高锰钢	切割良好,预热后更好
硅钢	切割良好
低铬合金钢	切割良好
低铬及低铬镍合金钢	切割良好
18-8 铬镍不锈钢	可以切割,但要有相应的作业技术
铜及铜合金	不能切割
铝	不能切割

（2）切割机切割　工作原理类似于火焰枪，由火焰枪的切割炬、定尺机构和切缝清理装置组成。定尺机构有机械式、脉冲式和光电式，可以实现自动定尺。切缝清理装置专门清理切缝口粘附的残渣，以防影响轧制时钢材的表面质量。清理方法有用刮刀刮掉粘渣的，也有用一组高速旋转的尖角锤头打掉粘渣和毛刺的。火焰切割机多作为连铸机后钢坯的在线切割设备，切割大断面方坯、板坯及大管坯，还用来切割厚度大于 50mm 的成品钢板。

3. 激光切割

激光切割是一种新工艺。激光切割是应用激光聚焦后产生的高功率密度能量来实现的对板料的切割。在计算机的控制下，通过脉冲使激光器放电，从而输出受控的重复高频率的脉冲激光，形成一定频率、一定脉宽的光束，该脉冲激光束经过光路传导及反射并通过聚焦透镜组聚焦在加工物体的表面上，形成一个个细微的、高能量密度光斑，焦斑位于待加工面附近，以瞬间高温熔化或气化被加工材料。每一个高能量的激光脉冲瞬间就把物体表面溅射出一个细小的孔，在计算机控制下，激光加工头与被加工材料按预先绘好的图形进行连续相对运动打点，这样就会把物体加工成想要的形状。切割时，一股与光束同轴的气流由切割头喷出，将熔化或气化的材料由切口的底部吹出（注：如果吹出的气体和被切割材料产生热效反应，则此反应将提供切割所需的附加能源；气流还有冷却已切割面，减少热影响区和保证聚焦镜不受污染的作用）。与传统的板材加工方法相比，激光切割具有高的切割质量（切口宽度窄、热影响区小、切口光洁）、高的切割速度、高的柔性（可随意切割任意形状）、广泛的材料适应性等优点。目前激光切割技术已经运用到越来越多的行业，可大大减少加工时间，降低加工成本，提高工件质量。现代的激光成了人们所幻想追求的“削铁如泥”的“宝剑”。

以 CO_2 激光切割机为例，整个系统由控制系统、运动系统、光学系统、水冷系统、排烟和吹气保护系统等组成，采用先进的数控模式实现多轴联动及激光不受速度影响的等能量切割，同时支持 DXP、PLT、CNC 等图形格式并强化界面图形绘制处理能力；采用性能优越的进口伺服电动机和传动导向结构实现在高速状态下良好的运动精度。

5.2.3　电火花线切割

电火花线切割（Wire Cut Electrical Discharge Machining，简称 WEDM）是用线状电极

（钼丝或铜丝）靠火花放电对工件进行切割，故称为电火花线切割，简称线切割，属于电加工的范畴。这种加工方式的优点是切割厚度没有严格的限制，只要工作台和夹具能够满足就可以，切割精度高，断面质量好。缺点是切割速度太慢，封闭零件切割前需钻孔，虽然可切割较大厚度的工件，但对工件大小有很大局限性，零件相对都较小，不适合大批量生产。电火花线切割机按走丝速度可分为高速往复走丝电火花线切割机（俗称“快走丝”）、低速单向走丝电火花线切割机（俗称“慢走丝”）。

5.2.4　三维激光切割技术

1. 三维激光切割的基本原理

激光切割头的透镜将激光束聚焦至一个很小的光斑，光斑的直径一般为 0.1～0.5mm，焦斑位于待加工表面附近，用以熔化或汽化被切材料。与此同时，一股与光束同轴气流由切割头喷出，将熔化或汽化的材料由切口的底部吹出。随着激光切割头与被切材料的相对运动，生成切口。如果吹出的气体和被切材料产生放热反应，则此反应将提供切割所需的附加能量。气流还有冷却切割材料、减小热影响层和保证聚焦透镜不受污染的作用。激光切割原理如图 5-4 所示。

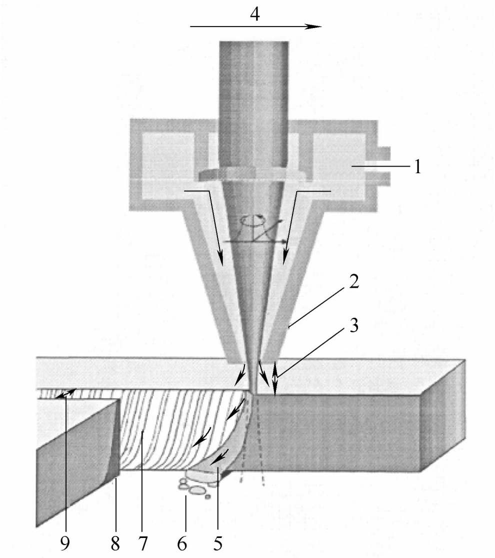


图 5-4　激光切割原理图

1—辅助气体　2—喷嘴　3—喷嘴和工件表面的距离　4—切割速度　5—熔融材料　6—熔渣　7—表面粗糙度　8—热影响层　9—切口宽度

激光切割区的示意图如图 5-5 所示。激光切割过程发生在切口终端处一个接近垂直的表面，称为烧蚀前沿。激光和气流在该处进入切口，激光能量一部分为烧蚀前沿所吸收，一部分穿过切口或经烧蚀前沿向切口空间反射。烧蚀前沿由吸收的激光和切割过程中的放热反应所加热而熔化或汽化，并被气流吹除。部分热量由通过热传导传入基体材料，透过辐射损耗以及对流换热被气流带走。

2. 三维激光切割技术的特点

1）三维激光切割精度高、速度快、加工效率高，是一种绿色加工。

2）三维激光切割的柔性高，只要更改切割程序就可切割不同形状的工件。产品改变所需的成本只是重新编程和更换工装的费用，同更换冲孔模和修边模相比，不仅节约了成本，而且大大缩短了新产品的研发周期。

3）三维激光切割的热影响层小、切口平滑且无毛刺，无须对切口进行后续处理便可直接使用。

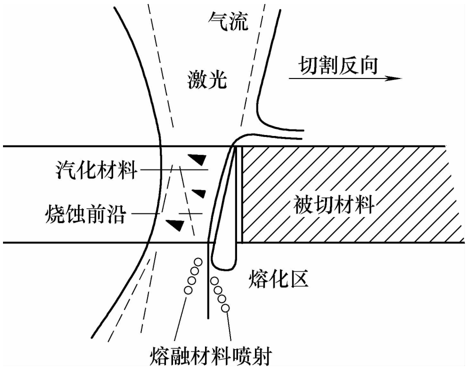


图 5-5　激光切割区示意图

4）随着新材料在农业机械工业中的应用，对某些特殊材料，使用冲孔模和修边模加工非常困难，只能采用三维激光切割的方法进行加工。

3. 三维激光切割机的分类

（1）CO_2 激光切割机　激光切割机一般靠激光电源带动激光管发光，通过几个反光镜的折射，使光线传输到激光头，再由激光头上安装的聚焦镜将光线汇聚成为一点，而这一点可以达到很高的温度，从而将材料瞬间升华为气体，由抽风机吸走，这样就达到切割的目的；一般激光切割机使用的激光管内填充的主要气体为 CO_2，因此这种激光管称为 CO_2 激光管，而使用这种激光管的激光切割机称为 CO_2 激光切割机。

（2）光纤激光切割机　光纤激光切割机是利用光纤激光发生器作为光源的激光切割机。

光纤激光切割机与 CO_2 激光切割机相比较具有以下优势：

1）卓越的光束质量：聚焦光斑更小，切割线条更精细，工作效率更高，加工质量更好。

2）极高的切割速度：是同等功率 CO_2 激光切割机的 2 倍。

3）极高的稳定性：采用世界顶级的进口光纤激光器，性能稳定，关键部件使用寿命可达 10 万小时。

4）极高的电光转换效率：光纤激光切割机比 CO_2 激光切割机电光转换效率高 3 倍，节能环保。

5）极低的使用成本：整机耗电量仅为同类 CO_2 激光切割机的 20% ~30%。

6）极低的维护成本：无激光器工作气体；光纤传输，无需反射镜片；可节约大量维护成本。

7）产品操作维护方便：光纤传输，无需调整光路。

8）超强的柔性导光效果：体积小巧，结构紧凑，易于满足柔性加工要求。

4. 三维激光切割技术发展趋势

近年来，三维激光切割技术飞速发展，在工业中的应用越来越广泛，逐步深入到社会生产的各个领域，尤其在汽车、模具和航空制造业的应用最为突出。目前，该技术还有很多地方需要进一步完善，值得继续深入研究和发展。三维激光切割技术的发展趋势可以概括如下：

1）伴随着激光器向大功率发展以及采用高性能的 CNC 及伺服系统，三维激光切割技术可以获得更高的加工精度和加工速度，切割质量将会进一步提高。同时能够切割的材料种类将逐步增多，切割板材的厚度将进一步增加。

2）三维激光切割机床的工作行程会进一步加大，可以用来切割大型车辆的车身覆盖件，如 SUV、商务车、皮卡及特种车辆等。同时，各轴的运动定位精度和重复定位精度将提高，以获得较高的切割精度。

3）三维激光切割技术将更加柔性化和智能化，从 CAD 到 CAM 的过程将更加简洁，操作性更强。激光切割头位置和运动姿态的控制更加灵活多变，离焦量的控制会更加准确；加工过程中，切割头和工件及夹具在碰撞干涉前会自动避让。

4）人工智能系统将会在三维激光切割中广泛应用，逐步建立三维激光切割工艺数据库和工艺参数智能选择专家系统，三维激光切割技术专用的 CAD/CAM/CAPP 技术将逐步集成

和完善。

5）三维激光切割机床的功能多样化，将会集成打孔、切割、焊接、表面处理等多种功能，向多功能的三维激光加工中心发展，以充分发挥激光加工的整体优势。

6）进一步研究三维激光切割的机理，建立完善的三维激光切割数学传热模型。

5.3 钣金折弯工艺

折弯是钣金加工的重要方法之一。它是使金属板料沿直线进行弯曲（甚至折叠），以获取具有一定夹角和圆弧工件的塑性成形工艺。现代钣金工作人员，利用折弯机弯折各种几何截面形状的金属板箱、柜、盒壳、U 形梁、矩形管和屏板等薄板制件。它广泛应用于钣金加工工业。

根据折弯时所采用的设备不同，可将折弯分为手工折弯、机械折弯和数控折弯。

5.3.1 手工折弯

手工折弯属于最早最基础的一种折弯方式，最初未出现机器的时候，人们都是通过手工折弯，一般都是靠模胎的冷打击（薄板）或者靠加热后利用金属的软化再利用铁锤或者模胎敲打完成（厚板），如图 5-6 所示。随着生产的不断发展和进步，绝大多数的成形工艺是在机器上完成的，手工方法往往作为补充加工或整修工作。但在单件生产情况下或一些形状比较复杂的零件，仍离不开手工操作及加工。手工折弯也需要一些简单的胎型、靠模和各种各样的工具、夹具，这些工具、夹具一般也是通用的，万能的。手工折弯件的质量如何，主要取决于操作程序安排得合理与否，以及所选用的工具、夹具、模胎是否比较合适。然而最重要的是取决于操作工人的实践经验与熟练的操作技巧。这种方法虽然劳动强度大，但由于使用的工具简单，操作比较灵活，至今仍然被广泛采用。

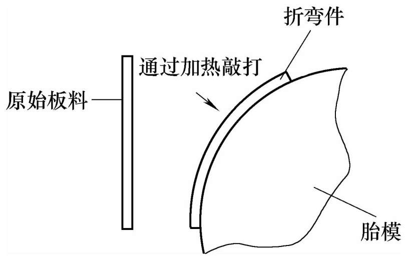


图 5-6　手工折弯示意图

5.3.2 机械折弯

机械折弯是工人通过操作机械折弯设备和模具对板料进行弯曲的加工方法。机械折弯作为介于数控折弯和手工折弯之间的一种加工方式，是半手工半机械的加工方式，可以解决一些简单的批量大的零件的加工。机械折弯加工多数使用液压方式，吨位相对比较大，能折的板厚也相对比较厚。

5.3.3 数控折弯

是在机械折弯的基础上，加入了单片机等控制系统，将机械加工中需要人为计算的内容通过数控系统来完成，解放了操作者的大脑，计算速度也加快了，使操作者只需要按照事先安排好的步骤和动作来完成一系列较复杂的折弯，从而提高了准确度和效率，也减少了出错频率。

5.4 钣金件材料分类

5.4.1 冷轧板

冷轧普通薄钢板，是普通碳素结构钢冷轧板的简称，简称“冷板”，它是由普通碳素结构钢热轧钢板经过进一步冷轧制成厚度小于 4mm 的钢板，由于在常温下轧制，不产生氧化皮，因此，表面质量好，尺寸精度高，再加上退火处理，其机械性能和工艺性能良好，是钣金加工最常用的一种金属材料。农业机械中常用的都是 3mm 以下（不包括 3mm）的冷轧板，多用于冲压模具中，因为冷轧板热处理后要进行去应力等处理，材料质地和表面质量优于热轧板，冲压后的零件表面质量好，对模具损伤小。

5.4.2 热轧板

热轧板，即热轧钢板和钢带，俗称热板，通常也会把“轧”写成“扎”字，如“热扎板”，但都是指的同一种热轧板。指宽度大于或等于 600mm，厚度为 0.35～200mm 的钢板和厚度为 1.2～25mm 的钢带。农业机械中常用的都是 3mm 以上的热轧板，热轧板表面一般都有一层氧化皮，比冷轧板少一道去应力和酸洗工序，多用于热下料过程，零件精度和表面质量要求一般较低，后续还有可能根据需要再进行一些简单的酸洗和去应力处理。

5.5 钣金模具

5.5.1 机械折弯模具

折弯机上用的弯曲模具可分为通用模具和专用模具。图 5-7 所示是通用弯曲模的断面形状。

上模一般是 V 形的，有直臂式和曲臂式两种，如图 5-7b、c 所示，下端的圆角半径常制造成几种不同的固定尺寸，将它们组成一套使用，圆角较小的上模夹角制成 15°。

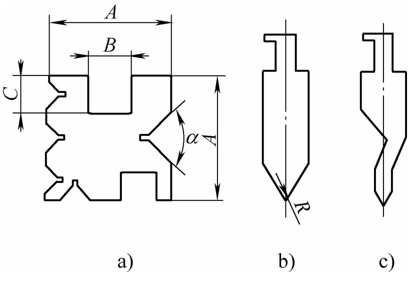


图 5-7　通用弯曲模
a）通用凹模　b）直臂式凸模
c）曲臂式凸模

下模一般是在四个面上分别加工出适应机床弯制零件的几种固定槽口，如图 5-7a 所示，槽口的形状一般是 V 型，也有矩形，都能弯制钝角和锐角零件。下模的长度一般与工作台面相等或稍长一些，也有较短的。弯曲模在折弯机上选用通用弯曲模弯制零件时，下模槽口的宽度不应小于零件的弯曲半径与材料厚度之和的 2 倍，再加上 2mm 的间隙，即：

$$B > 2(t + R) + 2$$

式中　B——下模槽口宽度（mm）；

t——零件的材料厚度（mm）；

R——零件的弯曲半径（mm）。

这样，在弯曲时毛坯不会因受阻而产生压痕或刮伤现象，同时为减少弯曲力，对硬的材

料应选用较宽的槽口；而软的材料，较宽的槽口会使直边弯成弧形，应选用较小的槽口。在弯曲已具有弯边的毛坯时，下模槽口中心至其边缘的距离不应大于所弯部分的直边长，如图 5-8a 中 的尺寸 d 必须小于尺寸 c，否则无法放置毛坯。已弯成钩形的毛坯再弯曲时，应采用带躲避槽的下模（见图 5-8b）。

对于上模的选择也需根据零件的形状和尺寸的要求。上模工作端的圆角半径应略小于零件的弯曲半径；一般采用直臂式上模，而当直臂式上模有挡碍时应换成曲臂式上模（见图 5-8a）。

1. 通用弯曲模具

采用通用弯曲模弯制多角的复杂零件时，根据弯角的数目、弯曲半径和零件的形状，须经多次调整挡板和更换上模及下模。弯制时先后的次序很重要，其原则是由外向内依次弯曲成形。

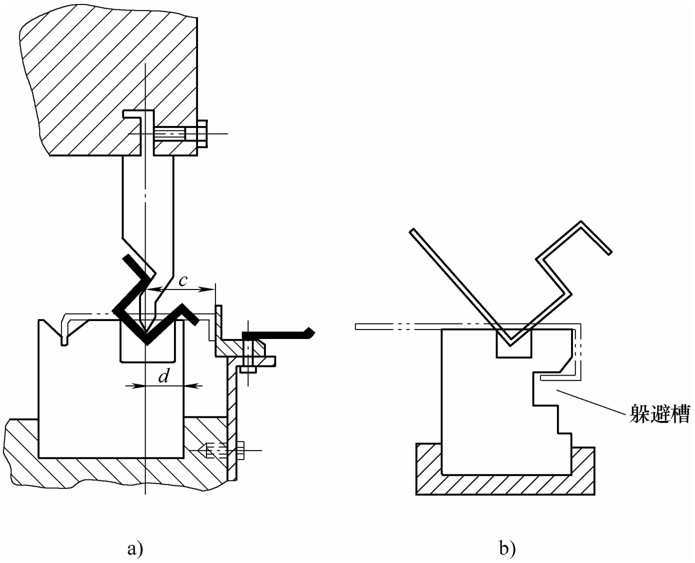


图 5-8　带弯边件的弯曲

例 5-1　若弯曲图 5-9a 所示的零件，由于弯曲半径相同而各部分尺寸不相等，所以弯曲时需多次调整挡板位置，下模可用同一槽口，在前三次弯曲时，可采用直臂式上模（见图 5-9b），最后一次采用曲臂式上模（见图 5-9c）。

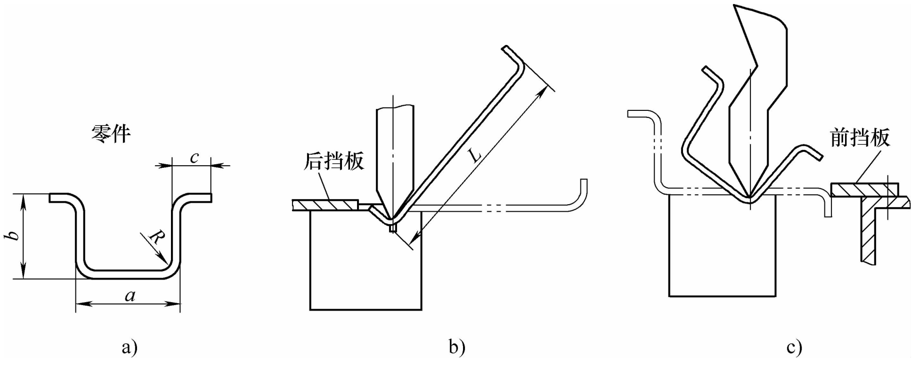


图 5-9　槽形两件弯曲工序

a）零件　b）第一、二道工序　c）最后一道工序

例 5-2　若弯曲图 5-10 所示的复杂零件，由于各边尺寸不等，弯曲半径也不相同，所以在弯制该零件时，第一道工序可按零件的弯曲半径 R_1 和尺寸 a 确定上、下模，并调整挡板。在进行第二道工序时，由于 R_2 与 R_1 不同，且直边 d 与 a 不同，因此必须更换上模和重新调整挡板。同样在第三、四道工序时也应更换上模和重新按尺寸调整挡板。第四道工序使用曲臂式上模。

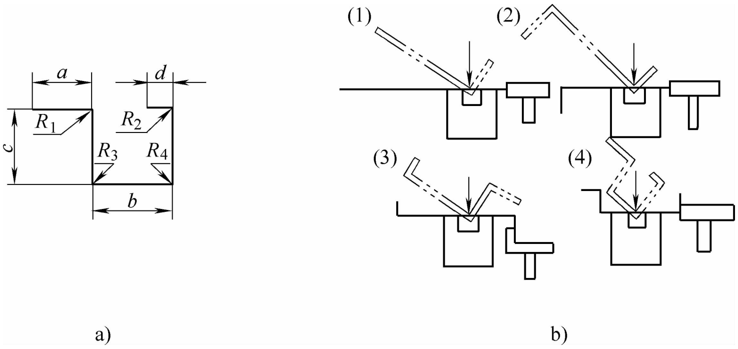


图 5-10　复杂零件弯曲工序

a）零件图　b）成形过程

在生产中如果嫌更换模具麻烦，也可直接采用带躲避槽的下模和曲臂式上模，但是要注意曲臂式上模强度差、易变形。在成批生产时，为了提高效率，应成批地进行各个分工序加工。弯制时注意首件检查和中间抽检，以保证整批零件的质量。

2. 专用模具弯曲

在压弯机上除了用通用弯曲模进行上述弯曲工作外，有时由于产量较大或零件形状特殊；必须使用专用弯曲模。专用弯曲模可与通用弯曲模配合使用，也可以单独弯制零件。常用专用弯曲模如图 5-11 所示。

图 5-11a、c 所示为一次冲压成形，生产率很高；图 5-11b、d 所示是最后一道工序用弯曲模。因为零件的开口很小，通用弯曲模只能做前几道工序的弯曲加工。

带曲度的零件，如蒙皮，常用如图 5-12 所示的各种弯曲模进行弯制，工作时需多次冲压使毛坯逐步成形，如图 5-12a、b 所示冲压时需移动毛坯，若零件两端的曲度不同，则上模安装时应适当地倾斜，使两端进入下模的深度不等。图 5-12c 所示的下模是可调的，图 5-12d 所示的下模是靠橡皮成形。在飞机工厂里一般叫橡皮容框，主要用来成

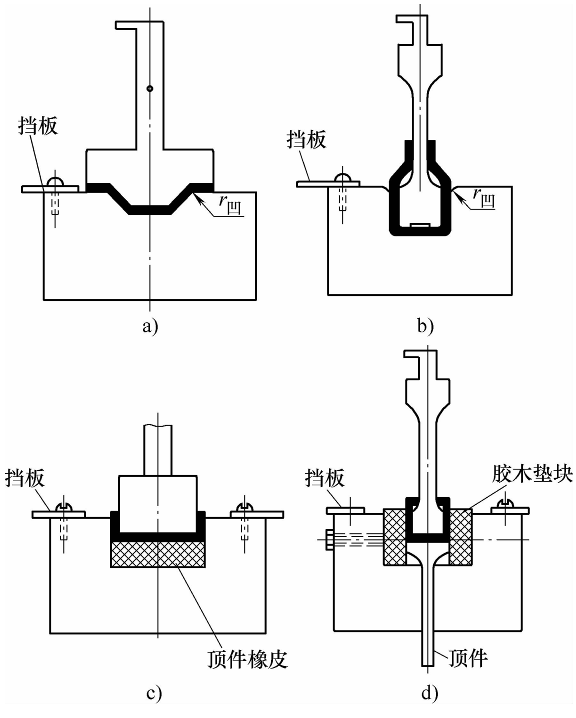


图 5-11　弯压力机专用弯曲模

形前缘蒙皮。下模采用橡皮容框，不但可以通用，而且压出的零件表面质量好，且降低零件成本。

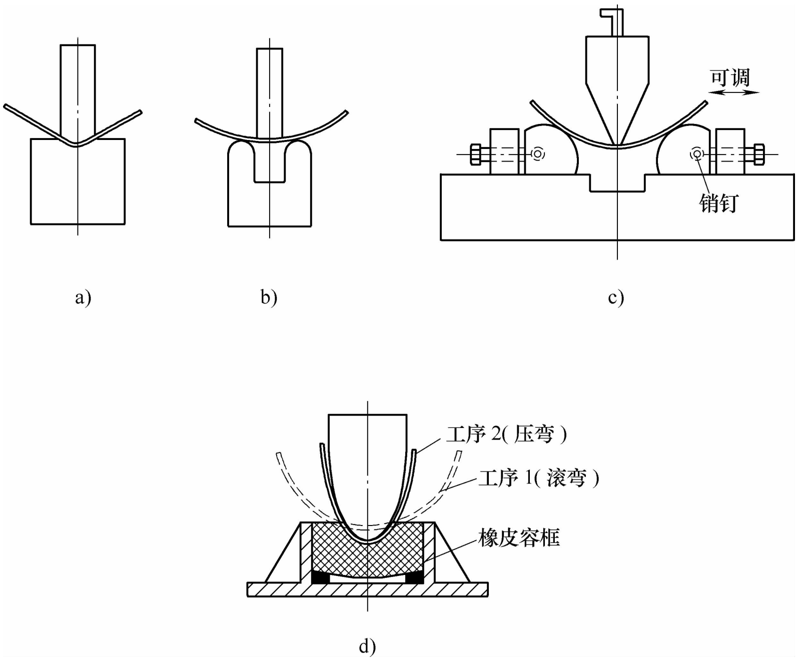


图 5-12　弯制带曲度零件

5.5.2　数控折弯模具

数控折弯模具是在机械折弯模具的基础上发展起来的，除了应用机械折弯模具以外，由于加入了机械手臂和自动换模机构，使折弯柔性化程度得到了大幅度的提高，模具可以由很多分块组成，并列入模具库中，当需要进行 A 折弯时，由机械换模机构将上、下模进行更换，来适应 A 折弯；当需要 B 折弯时，自动换模机构则会将工作台上的其他模具收回，并安装适合 B 折弯的模具，以此类推通过 PLC 程序自动进行不同要求的折弯。这种折弯模具一般应用于有自动换模机构的数控折弯机上，并配合流水线进行批量柔性化折弯。这些模具更接近专用模具，由数控折弯机厂家根据使用单位需要特殊定制。

5.5.3　手工折弯模具

手工折弯模具属于冲压模具的手工版，即制作一个下模，然后将毛坯放置于下模上并定位，通过加热和铁锤或木槌的敲打来将毛坯变成下模形状。这个属于较原始的加工方式，适合用于精度要求不高且外形复杂、产品批量小而不适合开发模具的情况。

5.6　钣金设备

5.6.1　下料设备

1. 机械切割设备

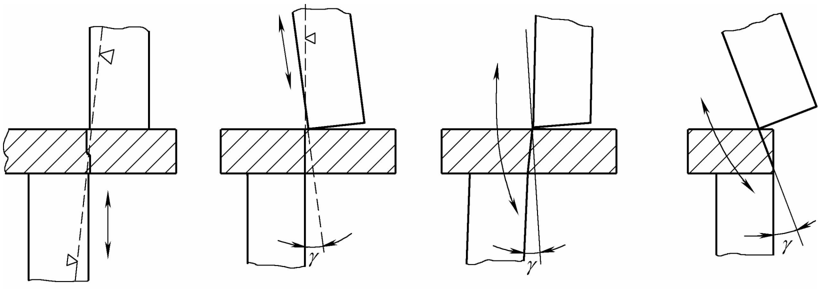
（1）剪切机　刀架的运动轨迹基本上可分四种：

1）刀架沿着垂线运动，如图5-13a所示，由于没有前倾角，因此上刀片断面必须做成菱形，只有两个刃（四个刃的矩形刀片也可用，但剪切质量差），这种刀架剪切的断口与板面不成直角。

2）刀架沿着前倾线（与垂线夹角为1°30′～2°）运动，如图5-13b所示，上刀片断面可做成矩形，具有四个刀刃，剪切的断口基本上与板面成直角。

3）刀架沿着圆弧线摆动，如图5-13c所示，剪切刀片断面宜做成菱形，只有两个刀刃，由于上刀片在剪切过程中略有前倾，因此剪切质量与上面的一种相仿。

4）刀架沿着圆弧线摆动，但前倾角可达30°，因此可以剪出焊接坡口（见图5-13d）。



a)　　b)　　c)　　d)

图5-13　刀架运动轨迹

中小规格的机械传动剪切机的维护简便，行程次数高，成本较低。国产Q11-12×2000剪切机如图5-14所示。机架为钢板焊接整体结构，刀架沿圆弧摆动，因此刀片间隙通过刀架摆动支点的偏心轴得到调整，结构简单，调节方便，压料装置采用液压结构。

液压传动剪切机有较多的优点：

1）工作安全，可以防止因超载而引起的机器事故。

2）操作方便，可以实现单次行程、连续行程、点动和中途停止并返程等动作，因此易于实现单机自动和流水线作业。

3）机器的体积小、重量轻、制动容易。

4）机器振动小，工作平稳，刀具寿命长。随着液压元件质量的提高，液压剪切机的应用将会越来越广。

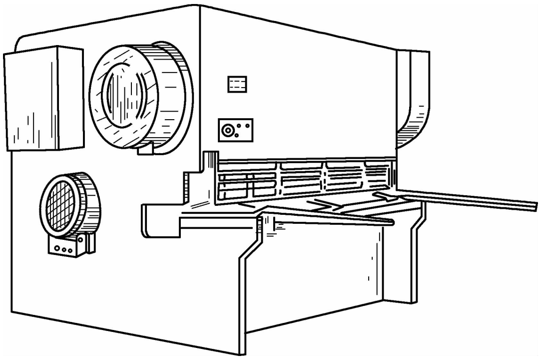


图5-14　Q11-12×2000剪切机

液压传动剪切机采用摆动式刀架，如图5-15所示。由于采用摆动支点，省去了导轨，便于调整刀片间隙，剪切时刀架运动略有前倾，使刀片磨损减少并使后挡料板得到微小的后让。由于刀片必须安装成弧面，安装时必须注意使刀片间隙全长均匀，以免接头不齐使刀片过早磨钝。

为在板料上剪出所需的角形（见图5-16），可采用角形剪切机，机器如图5-17所示。两个上刀片按角度固定安装在上刀架上（见图5-18），下刀片固定在工作台板上。由液压驱

动上刀架，使其作上下剪切运动，在工作台上有两个可移动调节的坐标挡块，用于板料定位，以便切出所需角形。

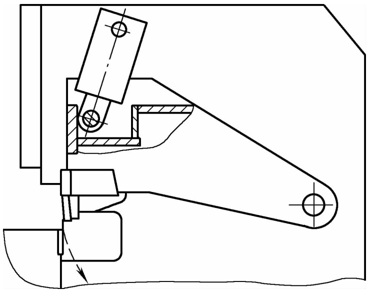


图 5-15 摆动式刀架

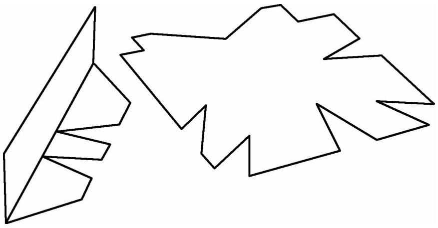


图 5-16 角形剪口

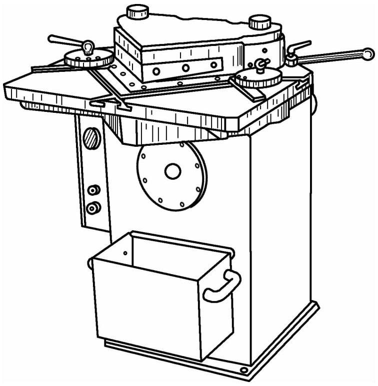


图 5-17 角形剪切机

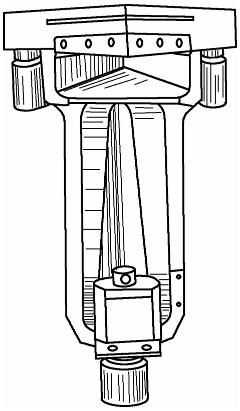


图 5-18 上刀架

剪切机规格见表 5-2。

表 5-2 剪切机规格

可剪板厚①/mm	可剪板宽①/mm	喉口深度/mm		剪切角度②	行程次数(不少于)次/min	
		标准型	加大型		机械传动空载	液压传动空载
1	1000			1°	100	
2.5	1200 2000			1°	70 60	
4	2000 2500 3200			1°30′	60 50 50	
6	2000 2500 3200 4000 6300	 300 500		1°30′	50 50 45 	 15 14
10	2500 4000	 300		2°	45 	 13

（续）

可剪板厚[①]/mm	可剪板宽[①]/mm	喉口深度/mm		剪切角度[②]	行程次数(不少于)次/min	
		标准型	加大型		机械传动空载	液压传动空载
12	2000			2°	40	
	2500				40	
	3200	300	600			9
	4000	300				9
	6300	300				8
16	2500	300		2°30′		8
	4000	300				8
20	2500	300		2°30′		6
	3200	300	600			5
	4000	300				5
25	2500	300		3°		5
	4000	300				5
	6300	300				4

① 表中规格系指剪切 R_m = 490MPa 的板料；R_m 不同时，应予以换算。
② 对于剪切角度可调的剪切机，表中列为额定剪切角度。

（2）滚剪机　滚剪机如图 5-19 所示，利用一对倾斜安装的上、下剪刀片进行剪切，能剪切曲线形、圆环形的板料。

滚剪机机座上装有 C 形的滚剪机架。工件支承机架根据需要配置。滚剪机架有上、下剪刀座，刀座上安装有剪刀，分别由电动机经减速装置直接驱动，作同速反向转动。上剪刀座安装在导轨上，手轮可控制其上下移动。工件支承机架其下支承台可自由转动，上压头与活塞杆相连，液压缸带动其上下移动，起压紧板料的作用，在进行滚剪时，上压头可与板料一起，绕活塞杆中心自由转动。活动挡块可沿导杆调整，剪切圆料时，挡块靠在剪切面的边缘上，起平衡自动送料力的作用。滚剪机架和工件支承机架的相对位置可根据滚剪板料的大小进行调整。

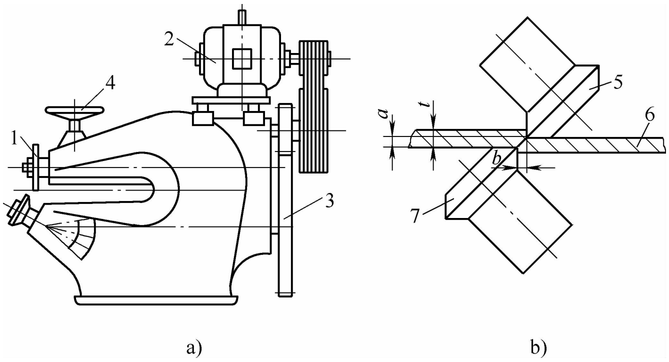


图 5-19　滚剪机
a）下滚刀倾斜　b）上、下滚刀轴线平行
1—圆盘剪刀　2—电动机　3—齿轮　4—手轮　5—上剪刀　6—工件　7—下剪刀

在大规模生产的条件下，滚剪机下料可以组织成流水生产线，如图 5-20 所示。

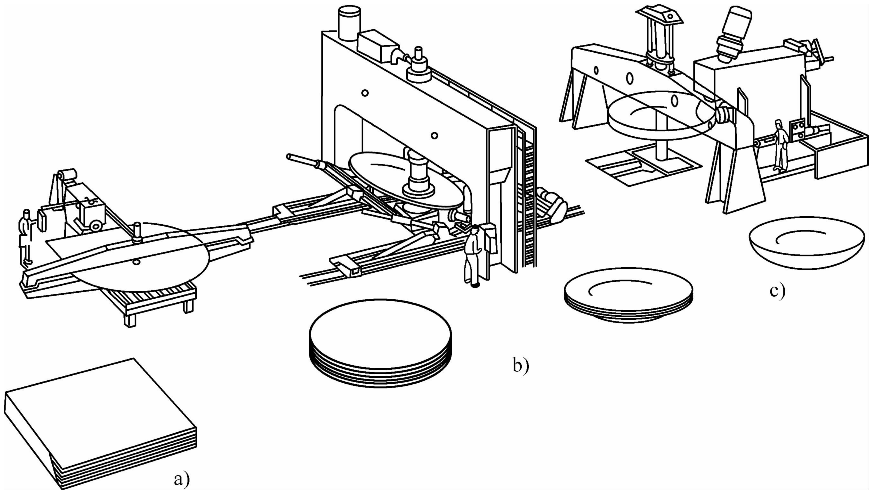


图 5-20　封头生产线
a）滚剪机下料　b）摆辗　c）旋压

2. 转塔冲落料设备

数控转塔压力机是压力加工设备中最具生命力的集机、电、液一体化的产品，用于各类金属薄板零件加工，可以一次性自动完成多种复杂孔型和浅拉深成形加工。通过自动编程，可对板材进行 X、Y 方向和精确定位，自动选择转盘模具库中的模具，按要求自动加工不同尺寸和孔距的不同形状的孔，也可用小冲模以步冲方式冲大的圆孔、方形孔、腰形孔及各种形状的曲线轮廓，也可进行特殊工艺加工，如百叶窗、浅拉深、沉孔、翻边孔、加强筋、压印等。

数控转塔压力机广泛用于多品种的板材加工行业，如高低压电力开关成套设备、通信电子、计算机、电梯、空调、厨具、建筑幕墙装饰、五金家具、电气控制箱、机械外罩加工等行业。

（1）数控转塔压力机工作原理　数控转塔压力机是用来对板材进行冲孔的压力机，在其冲头与工作台之间有一对可以储存若干套模具的转塔（即回转头，可作为模具库使用）。待加工的板材被夹钳夹持，并沿 X、Y 轴方向移动。工作时根据冲制零件所编制的计算机程序，使板材在 X、Y 轴方向移动和定位，并可任意选择转盘上的模具进行自动冲压。它与普通压力机的冲孔工艺不同。后者是在压力机上装一副模具，在一批板料上把与模具相对应的孔冲完，再换另一副模具，冲另外一种孔；依此循环，直至冲完所有的孔。这种冲孔法虽然不用重新制造全套模具，但是板材上下搬动次数较多，换模时间长，劳动强度大。如果在数控冲模回转头压力机上冲孔，只要装夹一次板料，就能把其上的孔全部冲出。其冲压方式是：当一种孔冲好后需要换模时，压力机把装于上、下转盘中的另一副模具转至滑块下，移动工作台带动板料移到所冲位置即可冲孔（图 5-21 中的孔 1）。另外，还可利用组合冲裁法冲出较复杂的孔（图 5-21 中的孔 2、3）或利用

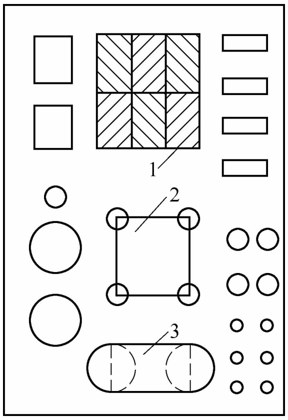


图 5-21　板材冲压零件

分步冲裁法冲出所需冲孔力大于压力机公称压力的孔。

（2）数控转塔压力机特点　由于采用了数控系统，一般只需在编程计算机上利用自动编程软件编制出加工程序，下载到数控系统中，压力机即可工作。此外，数控转塔压力机还具有以下特点：

1）较好的灵活性和较高的生产率。与普通冲孔相比，可提高生产率 4～10 倍，尤其对单件、小批量生产可提高生产率 20～30 倍。数控转塔压力机有较好的灵活性，同时又有较高的生产率，能满足日益增长的市场需求。

2）较短的调试时间。数控转塔压力机需要较短的调试时间，并且不需要凸模和凹模的手工对心。

3）自动化程度高。数控转塔压力机利用程序生产零件，所以几乎不需要操作者干预。操作人员只需把材料放到夹具中，然后启动控制按钮，材料和模具自动运行，生产出所需的零件。

4）精度高。数控转塔压力机可以提供较准确的打孔位置。孔的尺寸和形状由压力机和模具精确地控制。使用数控转塔压力机可以达到 ±0.1mm 的精度。

5）可以加工大尺寸的板材和大直径的孔。数控转塔压力机带有一个支承板料的工作台。工作台的尺寸直接影响加工板材的大小。大多数数控转塔压力机都带有二次定位功能，从而使加工大尺寸板材成为可能。可利用小尺寸的模具沿圆周冲切大直径的孔。

（3）数控转塔压力机结构　数控转塔压力机主要由机架、工作台、转塔（冲模回转头）、转模（自动分度）机构、驱动（机械或液压）系统、检测系统、数控系统和电气系统组装而成。图 5-22 所示为数控转塔压力机的外形示意图。

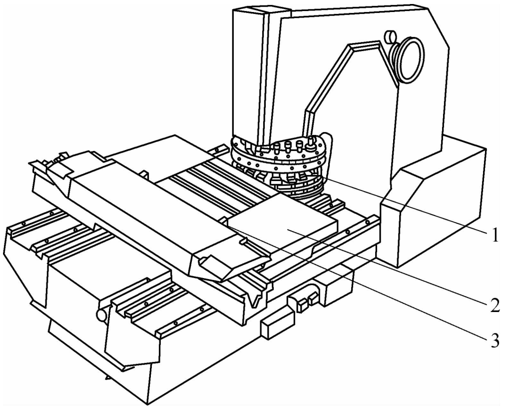


图 5-22　数控转塔压力机的外形示意图

1—转塔　2—移动控制台　3—夹钳

其传动原理如图 5-23 所示，主电动机 10 通过大、小带轮和蜗轮蜗杆，带动曲轴、连杆、肘杆动作，使滑块 3 作上下往复直线运动进行冲压。转塔 12 支承和悬挂在机身上，伺服电动机 11 通过传送带带动上、下转盘同步回转，以选择模具，并用定位销 6 使转盘最终定位，以保证上、下模同心。被加工板料用夹钳 13 夹紧，放置在移动工作台 2 上。两个伺服电动机通过滚珠丝杠副传动，使工作台纵横向送进，以选择工件冲孔的坐标。

1）机架。数控转塔压力机的机架多为钢板焊接结构，按其结构形式，数控转塔压力机的机架可分为开式机架（即 C 形或 J 形机架）和闭式机架（即 O 形机架）。闭式机架的优点是机架的刚性好，弹性变形小，在工作过程中对模具有利。目前国内外大多数厂家均采用开式机架，在机架的各侧面增加加强筋板和使用较厚的夹板来提高机架的刚度。由于冲压力属于动态载荷，因而加大质量可以获得更好的动态特性和振动阻尼。另外，为了解决机架的弹性变形，如德国的 Trumpf 公司还采用了双 C 形开式机架，把安装模具的上、下两个转盘装在内机架（副机架）上，内机架只起支承和导向作用；而机床的驱动系统和工作机构则装在外机架（主机架）上。工作时冲孔力由外机架承受，外机架在受力状态下变形，但对内

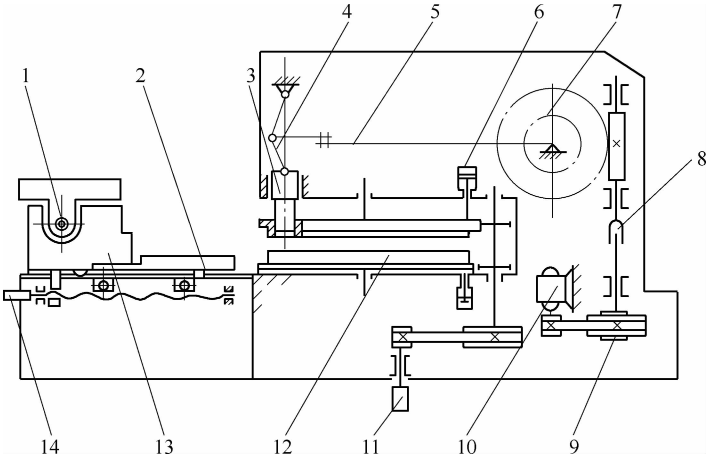


图 5-23　机械传动式数控转塔压力机传动示意图

1—滚珠丝杠　2—移动工作台　3—滑块　4—肘杆　5—连杆　6—液压定位销　7—蜗轮　8—联轴器
9—电磁离合器　10—主电动机　11、14—伺服电动机　12—转塔　13—夹钳

机架却无影响，上、下模具能精确对准，因而可提高冲孔精度和模具的寿命。

2）工作台。数控转塔压力机的工作台为焊接结构，它由本体（即机架的一部分）、活动拖架（即活动工作台 Y 轴）和滑动夹钳（X 轴）等几部分组成。活动拖架（Y 轴）通过安装在本体上的伺服电动机、滚珠丝杠副来驱动；滑动夹钳（X 轴）则通过安装在活动拖架上的伺服电动机、滚珠丝杠副来驱动，同时夹钳间的距离还可任意调整。目前国内外生产数控转塔压力机的夹钳间距离的调整大多数都是靠人工手动的，但也有少数能由计算机程序控制来进行。这种结构不仅能在加工移动时避开危险区，而且在加工产品改变后能自动调整，具有再次定位功能。通过再次定位，可一次装夹完成最大板料尺寸的冲压而无需人工干预。因而可对 X 方向超出工作台移动范围的工件进行加工，实现无冲压盲区，实现钣金加工的 FMS 化生产。

3）转塔。转塔是一个装有凸模和凹模的旋转轮，由上、下两个转盘组成，模具均装在转盘上。依据模具工位数量的多少，转塔可以分为单轨和多轨两种。为了使上、下转盘准确定位，在转盘的侧面或背面设有锥形定位销孔，锥销插入就可以保证定位准确。转盘轴称为 T 轴，T 轴的驱动包括伺服电动机，传动机构，驱动轴，分度销，上、下转盘。当数控系统设定转盘的某一模位号之后，定位锥销自动拔出，伺服电动机转动，经传动机构到后轴带动上、下转盘转动，转到设定的模位后停下，锥销再插入到相应的锥孔之中，从而使上、下转盘准确定位。

凸模在模具工位中上下滑动，凸模的外套和转塔之间的间隙很小，这样可以准确引导凸模运动。由于模具上下运动速度较快，容易引起转塔的磨损。磨损的转塔会影响模具精度并降低制件孔的质量。因而在设计转塔时，每个工位都使用了模套以消除转塔的磨损。由于模套由淬火过的合金钢制成，其抗磨损性大大地提高了。更重要的是，如转塔上的键槽或转塔工位内径损坏，更换模套既省时又省力，而且成本较低。可是，如果同样事故发生在没有模套的转塔上，就只有通过重新镗孔，增加镶套来解决。这种修理方法费工费时，费用很高，而且还需要精密的仪器设备才能完成。

具有 20 副模具的转塔结构如图 5-24 所示。上、下转塔 1、9 通过中心轴 3、7 悬挂和支承在机身的上部和下部，转塔可在中心轴上旋转。在上转塔的上平面和下转塔的下平面各有 20 个上、下定位孔 5、6，以使转塔最终定位。20 副上、下模通过上、下模座 2、8 分别安装在上、下转塔上，通过吊环 4 来调整上模的高低位置。每一位置的模具参数由控制系统记录，并能在加工时进行自动选择。

模具上模结构如图 5-25 所示。图 5-25a所示为非圆形刃口凸模，凸模 1 用螺钉与上模座 2 固紧，并采用方槽定位。对于直径小于 8mm 的圆形凸模增加过渡套，如图 5-25b 所示。上模通过 T 形头与滑块 T 形槽连接。下模结构如图 5-26 所示，下模座用三个螺钉紧固，并用压板压紧，以防止向上窜动。

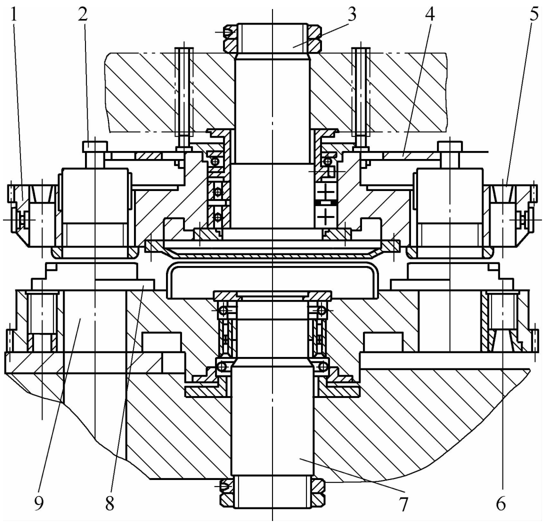


图 5-24　转塔结构图

1—上转塔　2—上模座　3—上中心轴　4—吊环　5—上定位孔　6—下定位孔　7—下中心轴　8—下模座　9—下转塔

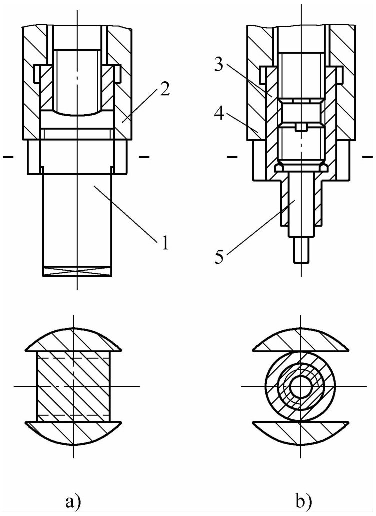


图 5-25　上模结构

1、5—凸模　2、4—上模座　3—过渡套

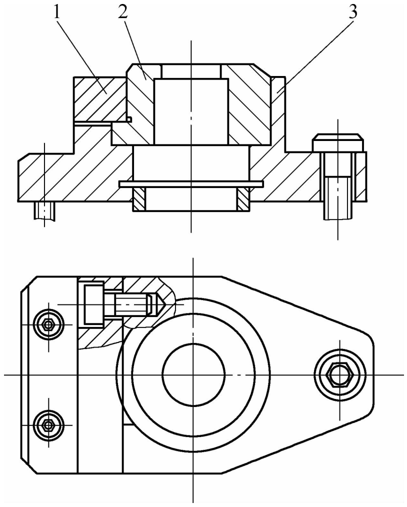


图 5-26　下模结构

1—压板　2—下模　3—下模座

4）转模（自动分度）机构。转模机构（在高端的转塔压力机上才有）即模具分度机构，是用来使转盘上某些模具沿本身轴线旋转的机构。分度模具的转动是由伺服电动机带动主动轴，并通过传动机构转动分度模具的传动蜗杆，通过蜗轮-蜗杆机构来带动分度模具转动。在不分度时，要保证模具分度为零。如果在工作过程中，机器由于某种报警而停机，应保证使分度模具置于零位。使用转模（自动分度）机构可以冲切复杂形状的板件，减少模具，降低模具的费用；同时还可缩短加工时间。

5）驱动（机械或液压）系统。数控转塔压力机根据驱动方式的不同，可分为机械驱动式和液压驱动式两种主传动形式。

① 机械驱动式数控转塔压力机。一般的机械式驱动系统是由电动机、飞轮、离合器/制动器、主轴/偏心轴、连杆和冲头组成。主电动机通过带传动带动飞轮转动，再通过离合器/制动器和偏心轴，使滑块上下往复运动，冲击上转盘上所选定的凸模（上模）而对板材进行冲孔。上、下转盘上配有若干套模具，其中包括自动分度模具。自动分度模具依靠转模机构可以绕自身轴转动，其转动精度在0.001°之内。上、下转盘由伺服电动机驱动，经过传动机构（链传动或同步带传动）带动，两转盘同时同向旋转，以选择所需要的模位。为使上、下转盘定位准确，在转盘侧面或背面设有锥形定位套，由气缸推动锥形销插入定位套内。板料的移动可由活动拖架（Y轴方向）和滑动夹钳（X轴方向）来完成，X轴方向和Y轴方向的运动由伺服电动机、滚珠丝杠副等驱动而实现，机床的所有动作均是根据预先编好的程序一步一步来完成的。

② 液压驱动式数控转塔压力机。液压驱动式数控转塔压力机由活塞和液压缸组合构成，这个组合连接到压力机液压系统上，由液压系统带动冲头作上下往复运动，冲击上转盘上所选定的凸模（上模）而对板材进行冲孔。目前液压驱动式数控转塔压力机的液压系统较普遍采用的是德国哈雷公司的快速压力机液压系统。使用液压驱动系统的数控转塔压力机可以控制冲头的行程和速度，它的优点是噪声小。这是通过降低冲头在接触板料时的速度来减小撞击噪声。

6）电气控制系统。数控转塔压力机目前多采用日本FANUC或德国SEMENS公司的控制系统，控制轴数有三轴（X、Y、T）、四轴（X、Y、T、C）和五轴（X、Y、T、C_1、C_2）；采用高精度、高性能、快速的交流伺服电动机，X、Y轴联动；采用彩色显示屏（TFT或STN），带有标准的RS232接口，可配软驱，配有PLC（可编程序控制器），具有自诊断功能。

FANUC公司有0P（低档）、18iP或180iP（高档）、0iP（简化）等数控压力机专用系统。

SEMENS公司有用于数控压力机的840D等开放式系统。

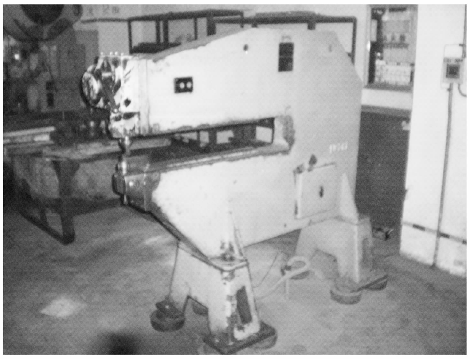
3. 振动剪切设备

振动剪切机如图5-27a所示，通过图5-27b所示的两个刀头的错位短程剪切来剪切薄板。因为两个刀头错位剪切行程很短，且剪切频率很高，如同在上下振动，所以叫振动剪。图5-27b所示为其工作状态。

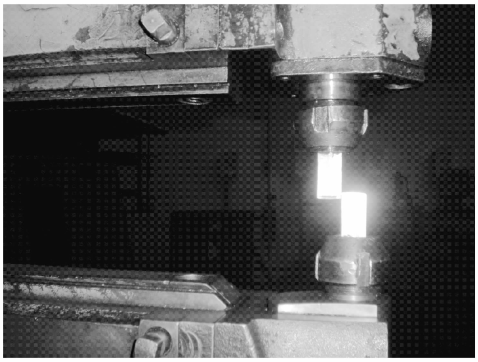
图5-27为黑龙江锻压力机厂生产的型号为Q21-5A的振动剪切机，理论剪切厚度为3mm，但实际中多数剪切2mm以下的板材，且要求材料硬度不能太大，因为是手工完成，所以必须考虑人送料的力量等因素。

4. 热熔切割设备

（1）等离子切割机　等离子切割机是一种新型的热切割设备，它的工作原理是以紧缩空气为工作气体，以高温高速的等离子弧为热源，将被切割的金属部分凝结，并同时用高速气流将已凝结的金属吹走，构成狭窄切缝。配合不同的工作气体能够切割不同的金属材料，如不锈钢、铝、铜、铸铁、碳钢等，前提是这些材料必须能够导电。等离子切割机配合不同的工作气体可以切割各种氧气切割难以切割的金属，尤其是对于有色金属（不锈钢、铝、



a)



b)

图 5-27　振动剪切机
a）振动剪切机外形　b）振动剪切机工作状态

铜、钛、镍）切割效果更佳；其主要优点在于切割厚度不大的金属的时候，等离子切割速度快，切缝狭窄、切口平整、热影响区小、工件变形度低、操作简单，并且具有显著的节能效果。尤其在切割普通碳素钢薄板时，速度可达氧切割法的 5 ~ 6 倍，切割面光洁、热变形小，几乎没有热影响区。

等离子切割机采用的工作气体（工作气体是等离子弧的导电介质，又是携热体，同时还要排除切口中的熔融金属）对等离子弧的切割特性以及切割质量、速度都有明显的影响。常用的等离子弧工作气体有氩、氢、氮、氧、空气、水蒸气以及某些混合气体。

等离子切割机广泛运用于汽车、机车、压力容器、化工机械、核工业、通用机械、工程机械、钢结构等各行各业。

该设备在各行业都有着普遍的应用，如各种机械、金属构件的制造、安装和维修，进行中、薄板材的切断、开孔、挖补、开坡口等切割加工。由于等离子切割机是配合工作气体使用的，许多等离子切割机都带有数控系统，因而又被称为空气等离子切割机或者数控等离子切割机。

数控等离子切割系统是等离子切割机的核心，它直接影响着等离子切割机的性能。数控等离子切割系统由数控装置（CNC）、伺服系统、辅助控制装置（PLC）和机床等离子电源组成，如图 5-28 所示。

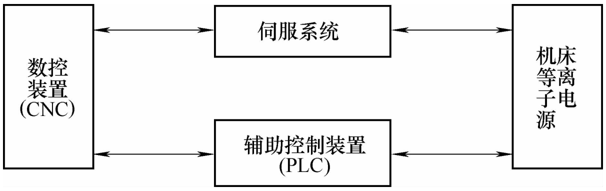


图 5-28　数控等离子切割系统

（2）火焰切割机　火焰切割机是一种非传统加工机床，它不是利用机械能，而是利用热能进行加工。它利用气体火焰将钢材表层加热到燃点并形成活化状态，然后送进高纯度、高流速的氧气，使钢板燃烧。与此同时，高压氧吹除熔渣，从而形成切口将钢材割开。在切割过程中要正确选择切割的参数，提高加工质量和加工效率，主要切割参数如下：

1）氧气。氧气纯度对切割过程影响很大。氧气中的杂质使下层金属迟缓氧化，因而下

层的燃烧速度慢于上层金属，增加后拖量，增大切口表面粗糙度，严重时甚至使切割过程中断。氧气的流量应稍高于必要值，此值主要与钢板厚度有关。切割氧的压力要适当，太大浪费氧气，且切口太宽，切口表面粗糙；太小切割过程缓慢，切口表面形成渣粒，甚至无法割穿。切割氧流形状及氧流攻角等也对切割过程有明显影响。

2）预热火焰能率。应选择合适的火焰能率，使尽快达到被切割材料的燃点，又不增加工件表面的残渣。若工件初始温度高，达到燃点快，则切割速度高。达到燃点后，预热结束。预热时间在加工过程中应能控制和调节。

3）切割速度。切割速度主要取决于对切割表面的质量要求。切割速度合适时，火焰和熔渣以接近于垂直方向喷向工件底面，切口质量好；切割速度太低时，切口上缘熔化，切口变宽；切割速度太高时，后拖量增大，甚至切不透。切割速度与板厚、氧气、预热等许多因素有关，在切割过程中速度应能动态调节。

4）割嘴距工件表面的距离。此距离与预热火焰能率有关，而预热火焰能率与工件厚度有关，割嘴的倾斜角也与工件厚度有关。在加工过程中，此距离应保持不变，此功能一般由自动调高装置进行。数控火焰切割机具有一般数控机床的特点，即能根据数控程序，自动完成切割过程，但也有一些不同之处。由于火焰切割机不像金属切削机床那样靠切削工具与工件的刚性接触来去除被加工材料，而是靠材料燃烧，靠热能和气体的动能加工材料。因此加工过程中工件受力较小。火焰切割机的加工过程包括点火、预热、通切割氧、切割、熄火、返回原点整个过程，因此切割过程中要控制的参数与冷加工不同。由于热切割要预热打孔，通常起割宽度比正常切口宽，所以切割时一定要有引入和引出线，以避免破坏零件轮廓。由于热切割有受热变形问题，引入和引出线形状有特殊的要求。热切割机加工每条封闭的曲线前要穿孔，所以每段封闭曲线都要有引入和引出线。因为引入和引出线不一定为直线，所以刀补的建立和撤销不能像冷加工那样只建立在直线段。由于各种因素的影响，有时会发生钢板未割穿的现象，此时割炬应能按原轨迹返回重新切割。数控火焰切割机应具有随时暂停及按原轨迹返回功能，冷加工机床一般不需要局部返回加工。

火焰切割机主要分为早期的手动切割和半自动切割机、仿形切割机和数控切割机。随着社会的进步和科技的发展越来越先进，切割功能也越来越强大。大致机型结构主要有：手动、仿形切割机，便携式数控切割机，悬臂式数控切割机，龙门数控切割机，台式数控切割机和专门用于钢管相贯线切割的相贯线数控切割机，以上结构都可以利用火焰切割的方式进行切割。其中根据金属材料和切割金属的厚度从工艺角度来说，一般 5mm 以上的碳钢板推荐用火焰进行切割，因为此类钢板产生的热变形很小。不锈钢和有色金属不能用火焰进行切割，原因是不锈钢在受热后表面产生高密度氧化层，阻止热量向下传递，从而影响板材的熔断；铜铝等有色金属的散热能力很强，导致割面的热量快速散失，也影响到板材熔断。

火焰切割机与其他切割机的比较如下：

1）与等离子切割比较。火焰切割时的温度比等离子切割时温度低，直接导致了其切割速率不及等离子，而且无法切割不锈钢以及很多有色金属。其优点在于，可以切割大厚度板材（我国已经掌握了切割 2000mm 厚度的火焰切断技术），切割设备和切割成本相对低廉，污染较等离子切割机小。

2）与激光切割机比较。火焰切割机在切割速度精度以及切割材质种类方面都远不及激光切割机，但是在切割厚度和切割成本上都优于激光切割机。

3）与高压水射流切割机比较。高压水射流切割机的精度和切割材料的种类都优于火焰切割机，但是火焰切割机在切割速度和切割厚度上均大于水切割机，且设备成本和切割成本都相对低廉。

综上所述：火焰切割机生产投入小，加工厚度大，适合精度要求不高的粗加工行业。

（3）激光切割机　图 5-29 所示为日本 AMADA 公司的 FOMⅡ 3015NT 型双工作台平面激光切割机。其加工精度能达到 ±0.1mm，主要具有以下特点：

1）“高速轴流，RF 放电（射频）型”激光发生器：“高速轴流，RF（射频）”发振模式，能防止粉尘对激光管内部镜片的污染，提高激光发生器寿命。在圆角、尖角切割时能防止熔着现象。

2）高速“追踪性”仿形激光头传感器：非接触仿形式激光传感器，对板材表面不会产生任何的划伤，同时对于表面平整度较差的板材，激光传感器可以精确控制激光头随板材表面的上下起伏，始终保持激光头与被切割板材之间光速焦距的恒定。

3）铸铁机架：铸铁机架吸振性优异，能够有效吸收各轴在高速移动加工时所产生的振动。

4）双驱动方式：X 轴方向设计有 2 组伺服电动机驱动机构，X、Y 轴方向快速移动速度均能达到 80m/min，合成速度达到 113m/min。

5）光路清洁装置：该装置过滤空气的 H_2O、CO_2，只保留空气中的纯净 N_2。

6）数控自动焦点控制：激光机标准配备采用了数控自动焦点 B 轴控制技术，降低对操作者的操作技能的要求，提高激光切割效率。

7）独特的空气切割功能：也可采用空气对铝合金板材进行切割，降低成本。

8）除尘系统：集尘过滤装置，具有智能感知功能，可以迅速开启自动灭火装置，保证设备和人员的安全。

9）水冷却系统：冷却系统主要用于冷却激光反生器和激光镜片。冷却水使用市场上容易购买的蒸馏水进行循环冷却。

10）交换工作台：交换工作台配置了托料用的电动升降式钢球，解决板材的划伤以及重板上料所面临的实际难题。

图 5-30 所示为日本小松公司的三维激光切割机。

图 5-29　平面激光切割机

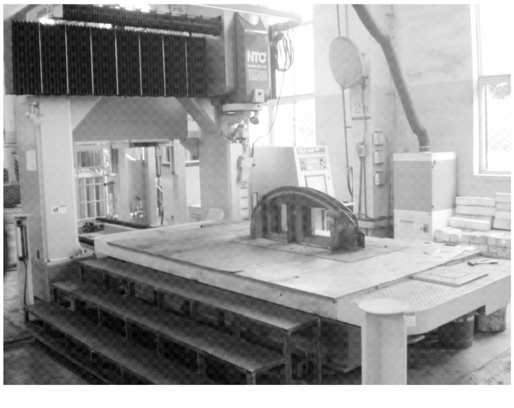


图 5-30　三维激光切割机

图 5-31 所示为无锡创科园软件有限公司生产的加载了德国 IPG 的 400W 激光器和 STAUBLI-RX160L 机器人系统的管件激光切割机，因为是光纤激光切割机，波长是 CO_2 激光切割机的 1/10，所以外面采用了防护房和两条零件进出轨道。图 5-32 所示为其六轴机械臂和激光头。

图 5-31　管件激光切割机防护房

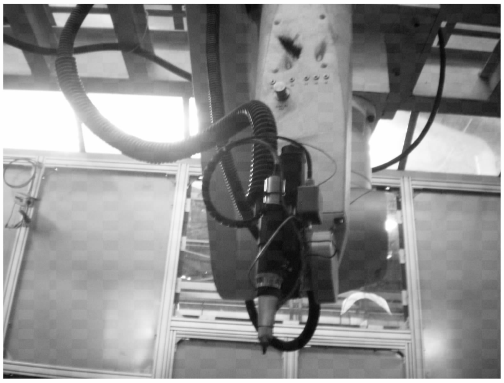


图 5-32　管件激光切割机机械手臂

5. 线切割设备介绍

（1）线切割设备介绍的分类　通常情况下根据电极丝的运行速度把线切割机床分为快走丝线切割机床（俗称快走丝）和慢走丝线切割机床（俗称慢走丝）两大类，近年又出现了介于二者之间的中走丝线切割机床。

1）快走丝线切割机床（High-speed wire cut electrical discharge machining）。顾名思义，其电极丝作高速往复运动，一般走丝速度为 6 ~ 12m/s，这是我国独创的线切割加工模式，一般采用钼丝（直径 0.13 ~ 0.25mm）作为电极。快走丝系统的作用是将工具电极丝整齐地排绕在贮丝筒上，并带动工具电极丝按一定线速度移动，走丝机构通过贮丝筒转动带动工具电极丝实现移动。在转动的同时，走丝机构必须具有使贮丝筒不断沿轴向运动的功能，以保证电极丝在加工中排绕整齐。同时，由于电极丝的长度有限，贮丝筒在加工中必须具有换向功能，即贮丝筒的转向和其轴向移动的方向同时逆转，以使电极丝往复运动，反复使用。国产快走丝线切割机床的电极丝张紧靠装绕时外加的张紧力，快速走丝系统使用一段时间后，电极丝会因弹性疲劳逐渐松弛，影响加工稳定性，必须及时紧丝。为了尽可能消除抖动，有利于加工稳定性，在电极丝拉伸强度允许的条件下，张紧力应尽可能大。

快走丝线切割机床能保证的加工精度为 ±0.01mm 左右，表面粗糙度为 $Ra \leq 2.0\mu m$，其结构简单，价格低廉，可满足一般的加工要求。

2）慢走丝线切割机床（Low-speed wire cut electrical discharge machining）。慢走丝线切割机床的电极丝作低速单向运动，一般走丝速度为 1.8 ~ 12m/min，这是国外生产使用的主要机种，主要以黄铜丝（直径 0.1 ~ 0.3mm）作为电极。机床具有单方向一次性送丝的慢走丝机构，电极丝在走丝机构中具有准确的位置精度和稳定性。慢走丝系统一般采用恒张力控制方法来张紧电极丝，包括采用张紧电动机或张紧重锤来随时张紧电极丝，使整个加工过程张力恒定。慢走丝线切割机床能保证的加工精度在 0.01mm 以内，表面粗糙度值 $Ra \leq 0.80\mu m$，其结构较复杂，价格昂贵。需要强调的是，慢走丝线切割机床的电极丝是一次性

使用的，因此加工成本很高，可满足精密加工的要求。

3）中走丝线切割机床（Medium Speed Wire Cut Electrical Discharge Machining，MS-WEDM）。所谓中走丝线切割并不是走丝速度介于快走丝和慢走丝之间，而是复合走丝机床，粗加工时走丝速度为 8～12m/s，精加工时走丝速度为 1～3m/s，是在高速往复走丝电火花线切割机上实现多次切割功能，这样工作相对平稳、抖动小，并通过多次切割减少材料变形及钼丝损耗带来的误差，使加工质量也相对提高，加工质量介于快走丝线切割机床与慢走丝线切割机床之间。

（2）线切割机床工作原理　线切割机床工作原理如图 5-33 所示。绕在运丝筒 4 上的电极丝（一般为钼丝）1 沿运丝筒的回转方向以一定的速度移动，装在机床工作台上的工件 3 由工作台按预定控制轨迹相对与电极丝做成形运动。脉冲电源的一极接工件，另一极接电极丝。在工件与电极丝之间总是保持一定的放电间隙且喷洒工作液，电极之间的火花放电蚀出一定的缝隙，连续不断的脉冲放电就切出了所需形状和尺寸的工件。

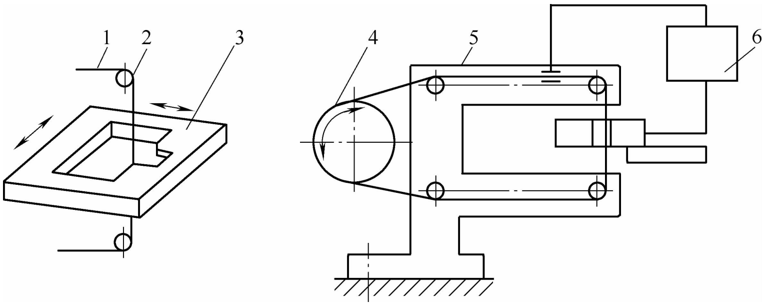


图 5-33　电火花线切割加工原理图

1—电极丝　2—导轨　3—工件　4—运丝筒　5—支架　6—电源

（3）电火花线切割加工设备组成　电火花线切割加工设备主要包括机床本体、脉冲电源、数字程序控制系统三大部分。

1）机床本体。机床本体主要由床身、坐标工作台、运丝装置、线架部分、工作液装置、机床电器等部件组成。

① 床身：是支承和固定工作台和运丝机构的基体，要求较好的刚度和强度。床身部件一般采用整体铸造结构，并经时效处理。

② 坐标工作台：主要分为 X、Y 向和 U、V 向移动工作台。X、Y 向移动工作台是安装工件、相对电极丝进行位移运动的工作平台，分别由交、直流电机或步进电动机驱动，通过滚珠丝杠副传动。U、V 向移动工作台是具有锥度加工功能的线切割机床的专有结构。线切割加工是通过坐标工作台与丝架的相对运动来完成的，因此，坐标工作台应具有高的运动精度和坐标精度。工作台运动导轨及床身导轨通常要进行高频淬火，使工作台进给的频率响应、摩擦阻力、静态特性处于最佳状态。

③ 运丝机构。运丝机构主要包括绕丝机构和丝架。快走丝线切割机床的绕丝机构一般是单滚筒式，结构简单，维护方便，但电动机正反换向频繁、电极丝张力不可调。运丝筒一般选用不锈钢无缝钢管材料，正反向运转使用弹性联轴器，可以有效地缓冲交变应力。丝筒通常采用双轴承支承，不但可以消除运丝部件的振动，而且保证了运动精度。丝架主要是对快速运动的电极丝起支撑作用，使电极丝工作部分与工作台面保持垂直。

2）高频脉冲电源。脉冲电源是线切割加工机床最重要的组成部分之一。由于线切割加工一般采用正极性加工方式，电源脉宽较窄，单个脉冲能量较小，脉冲频率较高。适合线切割加工的脉冲电源形式很多，主要有晶体管矩形波脉冲电源、高频分组脉冲电源、低损耗脉冲电源等。

3）数字程序控制系统。数字程序控制系统（简称数控系统）是电火花加工的核心部分，线切割机床数控系统必须具备最基本的控制加工由直线和圆弧组成的任意几何形状的功能，间隙补偿、锥度补偿、图形编制、图形显示、通信功能、逆向功能等随不同的线切割设备而不尽相同。

数控系统的基本控制原理为插补原理，主要有逐点比较法、数字积分法等。

图 5-34 和图 5-35 所示是苏州三光科技股份公司生产的线切割机床产品。

图 5-34　快走丝线切割机床

图 5-35　慢走丝线切割机床

图 5-34 所示为快走丝线切割机床。床身选用树脂砂铸件，设计成箱型结构，刚度和强度好，X、Y 轴选用高精度直线导轨和高精度滚珠丝杠，配光栅数显装置。

图 5-35 所示为慢走丝线切割机床。大理石工作台面，保证长期使用不变形。采用恒张力走丝机构、金刚石导向器，直连式电动机传动、高精密滚珠丝杠、直线导轨，高精度控制系统。

5.6.2　折弯设备

折弯设备主要是各种类型的折弯机。常用的折弯机分为机械折弯机、液压折弯机和数控折弯机。液压折弯机按同步方式可分为扭轴同步、机液同步和电液同步三种；液压折弯机按运动方式又可分为上动式和下动式。

折弯机包括支架、工作台和夹紧板。工作台置于支架上，工作台由底座和压板构成，底座通过传送带与夹紧板相连，底座由座壳、线圈和盖板组成，线圈置于座壳的凹陷内，凹陷顶部覆有盖板。使用时由导线对线圈通电，通电后对压板产生引力，从而实现对压板和底座之间薄板的夹持。由于采用了电磁力夹持，使得压板易于满足工件的不同夹持要求，而且可对有侧壁的工件进行加工，操作上也十分简便。

1. 机械折弯机

机械折弯机又可分为机械式折板机和机械式板料折弯机。前者简称折板机，后者简称压弯机。前者结构比较简单，适用于简单小型零件的生产；后者结构比较复杂，适用于复杂大、中型零件的生产。

（1）折板机　按传动方式的不同，折板机有手动和机动两种，一般都是使用机动的。

机动折板机主要由床架、传动丝杠、上台面、下台面和折板等组成。折板机结构简单，这里结合操作使用着重介绍其工作部分和操作过程。

折板机的工作部分是固定在台面和折板上的镶条，其安装情况如图 5-36 所示。上台面和折板的镶条，一般是成套的，具有不同的角度和弯曲半径，可根据需要选用。

折板机的操作过程如下：

1）升起台面，将选好的镶条装在台面和折板上。如所弯制零件的弯曲半径比现有镶条稍大时，可加特种垫板，如图 5-37 所示。这样在工作时，垫板要垫在毛坯的下边。

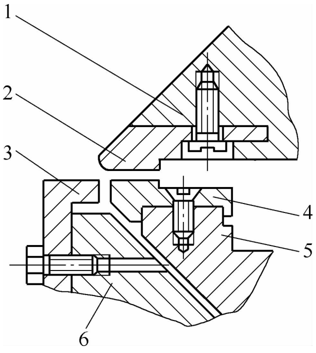


图 5-36　折板机上镶条的安装情况

1—上台面　2—上台面镶条　3—折板镶条
4—下台面镶条　5—下台面　6—折板

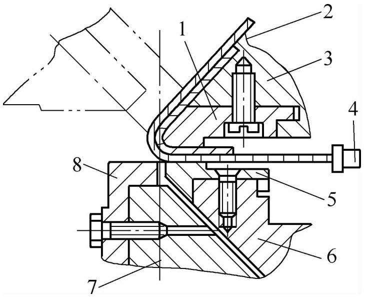


图 5-37　镶条的使用情况

1—上台面镶条　2—特种垫板　3—上台面　4—挡板
5—下台面镶条　6—下台面　7—折板　8—折板镶条

2）下降上台面，翻起折板至 90°角，调整折板与台面的间隙，以适应材料厚度和弯曲半径，为避免折弯时擦伤毛坯，间隙应稍大些。

3）退回折板，升起台面，放入的毛坯靠紧后挡板。若弯折较窄的零件，或不用挡板时，毛坯的弯折线应对准台面镶条的外缘线。

4）下降上台面，压住毛坯。

5）翻转折板，弯折至要求角度。为得到尺寸准确的零件，应注意回弹，必须很好地控制弯折角度。

6）退回折板，升起上台面，取下零件。

手动折板机的结构及工作原理与机动的相似，只是台面的起落靠人力摇手轮来实现；折板的转动靠人力直接往上抬从而来弯折零件。

折板机所弯折的零件，一般精度和效率都较低，因此，小型折板机使用较广；当产品较大，要求较严时常用机械式板料折弯机。

（2）机械式板料折弯机　它采用曲柄连杆滑块机构，将电动机的旋转运动变为滑块的往复运动。只要保证传动系统和工作机构有足够的刚度与精度，就能使工件具有相当高的尺寸重复精度。它的每分钟行程次数较高，维护简单，但机构庞大，制造成本较高，多半用于大、中零件折弯。

机械式板料折弯机的结构类似于普通开式双柱双点压力机。图 5-38 所示为其一般的传动系统。工作时，拖板的起、落和上、下位置的调节，是由两个独立的传动系统来控制。拖板位置的调整，是由电动机 21，通过齿轮 22、20、19、23 带动轴 25 转动，装在轴 25 上的

蜗杆 24 使连杆螺钉 2 旋入连杆 3 内，通过电动机换向，便可上下调节托板位置。拖板起落是靠电动机 13，通过带轮 16、齿轮 8 带动传动轴 7 转动，依靠齿轮 6 和 5 带动曲轴 4 转动，使连杆 3 带动拖板起落，进行折弯工作。

机械式板料折弯机的操作过程如下：

1）将拖板下降至最低位置，调整拖板的最低点到工作台面的垂直距离，即闭合高度。

2）升起拖板，安装上模和下模。一般是先把下模放在工作台上，然后下降拖板再装上模。在安装上模时，要保持两端平行，从拖板固定槽的一端，一边活动一边往里推至拖板中间位置，使机床受力均衡，并用螺钉紧固。

3）开动拖板的调整机构，使上模进入下模槽口，并移动下模，使上模顶点的中心线对正下模槽口的中心线，将下模固定。

4）升起拖板，按弯曲尺寸调整挡板，如图 5-39 所示。

$$A = L + \frac{B}{2} + C$$

式中　A——下模侧面至挡板距离（mm）；

B——下模槽口宽度（mm）；

C——下模侧面至下模槽口边缘的距离（mm）；

L——弯曲线至毛坯边缘的距离（mm）。

工作时，一般标出 A 值，经过试弯作适当调整后确定下来。

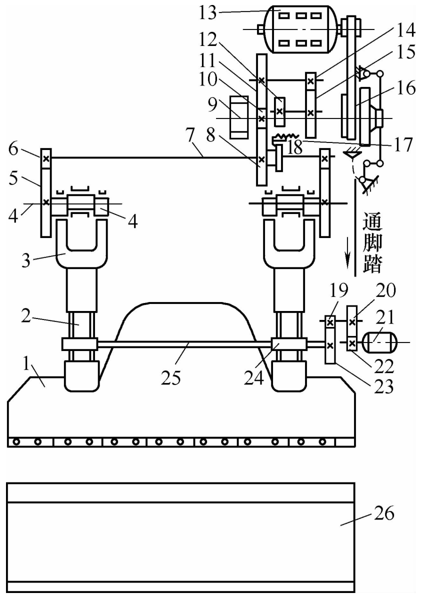


图 5-38　机械式板料折弯机传动系统

1—拖板　2—连杆螺钉　3—连杆　4—曲轴　5、6、8、10—齿轮　7—传动轴　9—止动器　11、12、14、15—变速箱齿轮　13—电动机　16—带轮　17—主轴　18—齿轮变速齿条　19、20、22、23—齿轮　21—电动机　24—蜗杆　25—轴　26—工作台

5）按要求调整弯曲角度。弯曲角度只需调整上模进入下模的深度，就很容易达到要求。一般先用废料调试，调好后再正式进行弯曲工作。

（3）液压式板料折弯机　液压式板料折弯机采用液压泵直接驱动。由于液压系统能在整个行程中对板料施加全压力，过载时自动保护，易于实现自动控制，因此液压折弯机是最常见的折弯机之一。一般它采用两个竖直液压缸推动滑块运动。为防止滑块在运动过程中产生过大的偏斜，还设有同步控制系统。

液压式板料折弯机的传动系统有多种形式，这里以黄石锻压机床厂生产的 W67Y-40 型液压板料折弯机（见图 5-40）为例对传动原理予以说明。

图 5-41 所示是它的液压系统原理图。电动机 1 起动后，液压油经液压过滤器 2 和手动变量柱塞泵 3 进入系统的主油路。当电磁换向阀 4 的线圈 CT1 通电时，液压油经溢流阀 5 和电磁换向阀 4 流回油箱，系统处于卸荷状态。当 CT1 断电和电液换向阀 7 的线圈 CT2 通电时，其上部先导阀阀芯右移，在控制油压的作用下，下部主阀阀芯左移，从而液压油经电液换向阀 7 的主阀和节流器 15 进入左、右液压缸 16、17 的上腔。同时，液控单向阀 14 在系

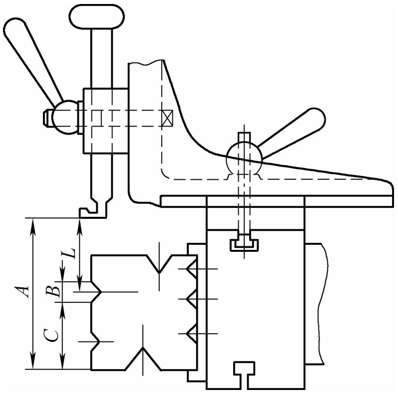


图 5-39　挡板位置的确定

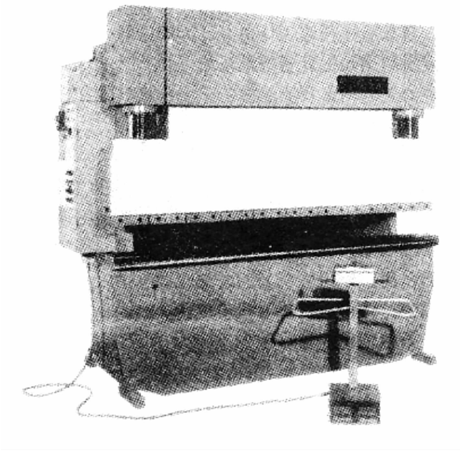


图 5-40　W67Y-40 型液压板料折弯机

统控制油压的作用下开启，液压缸的下腔经此阀、电液换向阀 7 的主阀和节流阀 6 与油箱连通。滑块在上腔油压和自重的作用下向下运动。由于此时滑块的运动速度大于进入液压缸上腔油液的流动速度，使液压缸上腔形成一定的负压，在大气压力的作用下，液控单向阀（又称充液阀）10 开启，液压油从上液压箱 18 经此阀进入液压缸上腔，进行充液，滑块快速落下（其速度可由节流阀 6 调节）。当上模接触工件后，系统压力迅速升高，滑块速度明显降低，液控单向阀 10 关闭，液压缸上腔仅由液压泵供油，滑块获得工作行程速度。当系统压力达到压力继电器 11 的调定值时（根据需要，可在 4 ~ 10MPa 之间调节），它发出信号，线圈 CT2 断电，CT3 通电，电液换向阀 7 的先导阀左移，其主阀阀芯在控制油压的作用下右移，系统油液经此主阀进入两个液压缸的下腔，同时打开液控单向阀 10，液压缸上腔的液压油经此阀流回上液压箱，滑块获得回程速度。该折弯机的液压缸中设有机械挡块，以保证滑块有准确的下死点，从而可使工件获得确定的弯曲角。此液压系统与电气系统配合，可以实现点动、单次行程和连续行程等操作。

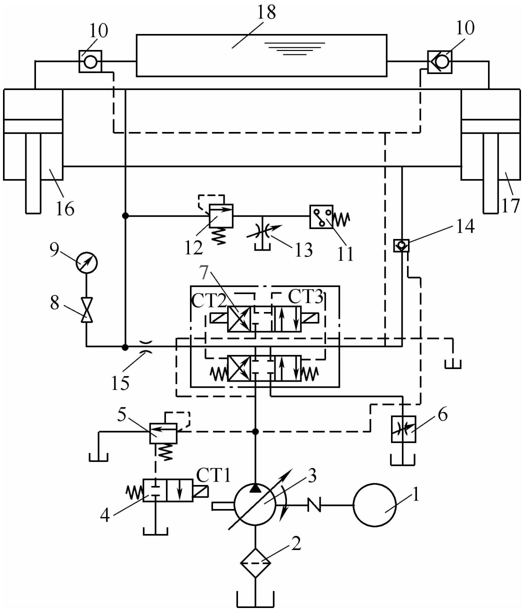


图 5-41　W67Y-40 型折弯机液压系统原理图
1—电动机　2—液压过滤器　3—手动变量柱塞泵
4—电磁换向阀　5—溢流阀　6—节流阀　7—电液换向阀
8—压力表开关　9—压力表　10、14—液控单向阀
11—压力继电器　12—溢流阀　13—节流器
15—节流器　16—左液压缸
17—右液压缸　18—上液压箱

表 5-3 和表 5-4 列举了部分折弯机的型号和技术参数。

表 5-3　折弯机技术参数

项　目		单位	数　据				
			W62-2.5 ×1250K	W62-2.5 ×1500A	W62-2.5 ×2000	W62-4 ×2000	W62-6.3 ×2500A
折边最大厚度		mm	2.5	2.5	2.5	4	6.3
折边最大宽度		mm	1250	1500	2000	2000	2500
折边最大厚度时最小折曲长度		mm	15	17	12	20	45
折边最大厚度时最小折曲内圆半径		mm	4	3.5	2.5	6	9
折边梁回转角		(°)	0～120	0～130	—	0～130	120
上梁最大升(行)程		mm	150	180	200	200	315
回转中心最大调整量		mm	30	100	—	—	—
上梁升降速度		mm/min	16.6	186	221	—	—
下梁最大调整量		mm	—	100	100	160	—
折边梁最大调整量		mm	—	100	100	160	125
电动机功率		kW	3	3	4	5.5	15
外形尺寸	长	mm	1760	2590	3245	3540	1705
	宽	mm	900	900	955	1560	4825
	高	mm	1480	1300	1400	1480	1700
重量		t	—	1.6	3.5	4.2	7
生产厂家(锻压机床厂)		—	肇源	黑龙江	山西忻州	黄石	—

表 5-4　液压板料折弯机技术参数

项　目		单位	数　据				
			WA67Y-25	W67Y-40	W67Y-63	PPN90/30	WA67Y-100
公称压力		kN	250	400	630	900	1000
工作台长度		mm	1600	2000	2500	3000	3200
喉口深度		mm	200	200	250	200	400
滑块行程		mm	100	100	100	120	100
最大开启高度		mm	300	300	320	300	335
立柱间距离		mm	—	1700	2050	2550	—
滑块行程调节量		mm	40	100	100	100	—
行程速度		mm/s	—	9	8	8	8
电动机功率		kW	3	4	7.5	5.5	11
外形尺寸	长	mm	1600	2050	2520	3133	3256
	宽	mm	1025	1227	1373	1940	2355
	高	mm	1800	2000	2160	2545	2125
重量		t	2.5	2.5	4.5	7.3	6.5
生产厂家(锻压机床厂)		—	马鞍山	黄石	黄石	黄石	北锻锻压机床有限公司

2. 数控折弯机

下面以 WE67YK 系列数控折弯机（见图 5-42）为例对数控折弯机进行简单的介绍。

（1）WE67YK 系列数控折弯机的特点　WE67YK 系列板料折弯机结构由 SDS-3PB 折弯机全闭环数控系统、两把光栅尺、一个光电编码器实时检测反馈和步进电动机驱动丝杠组成

全闭环控制。两把光栅尺，一把对后挡料、一把对滑块的位置进行实时检测并反馈纠正；光电编码器对液压缸死挡块的位置进行检测并反馈给数控系统。

1）直接进行角度编程，具有角度补偿功能。

2）光栅尺实时检测并反馈校正，全闭环控制，后挡料和滑块死挡料定位精度为 ±0.02mm。

3）上模采用快速夹紧装置，下模采用斜楔变形补偿机构。

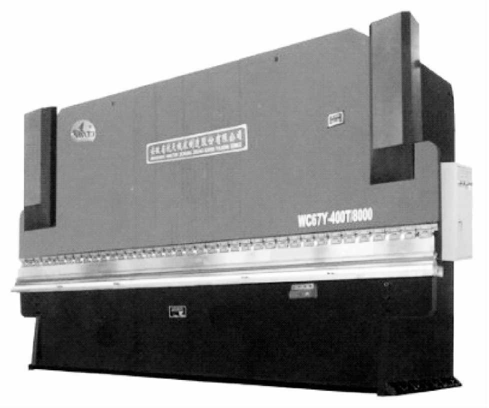


图 5-42　数控折弯机

4）具有多工步编程功能，可实现多工步自动运行，完成多工步零件一次性加工，提高生产效率。

5）根据用户需求可选用性能稳定、结构紧凑的进口液压系统，后挡料可选用滚珠丝杠、同步带传动。

（2）机床的结构组成

1）滑块部分：采用液压传动，滑块部分由滑块、液压缸及机械挡块微调结构组成。左、右液压缸固定在机架上，通过液压使活塞（杆）带动滑块上下运动，机械挡块由数控系统控制调节数值。

2）工作台部分：由按钮盒操纵，使电动机带动挡料架前后移动，并由数控系统控制移动的距离，其最小读数为 0.01mm（前后位置均有行程开关限位）

3）同步系统：由扭轴、摆臂、关节轴承等组成的机械同步机构，结构简单，性能稳定可靠，同步精度高。机械挡块由电动机调节，由数控系统控制数值。

4）挡料机构：挡料机构采用电动机传动，通过链条带动两丝杠同步移动，数控系统控制挡料尺寸。

3. 手工折弯模胎

手工折弯时要借助工具或简单的胎膜具，比如铁锤、气割、焊机等。条件允许的可以用激光切割机等设备进行下料，然后进行机械加工成形，再进行适当的热处理来提高使用寿命。

5.7　钣金制作实例

5.7.1　手工折弯件

如图 5-43 所示的零件为左立板，该零件为拖拉机驾驶室内部地板组件上的一个零件，材料为热轧普通薄板 Q235-A，厚度为 3mm。

从图中可以看出，该零件没有任何孔，有三个折弯，折弯半径分别为 $R17$ 和 $R30$。钣金工艺通常为先下料后折弯。1）下料工序：由于零件上无孔，而且外形尺寸要求不是很高，因此，采用等离子下料；2）折弯工序：由于折弯半径分两种，所以不能用通用的模具，而定制专用模具则会延长生产周期，而且零件批量不大，不适合投专用模具，因此采用制作简

易模胎的方式来完成该零件的生产。故该零件的钣金加工工序为：

采购毛坯→等离子下料→酸洗→模胎成形→检验→成品入库。

具体的加工步骤为：

（1）下料　由于此零件存在折弯，因此要对零件进行折弯展开，折弯展开后图形如图 5-44 所示。

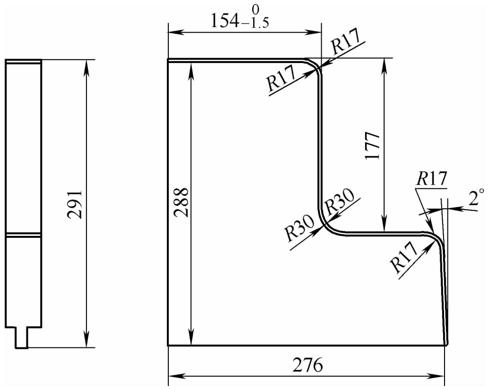


图 5-43　左立板

图 5-44　零件折弯展开图

由于采购的板材都是规格材料，有固定的长宽，将采购来的板料放置在等离子切割机上定位固定，然后按照排样图编制排样程序并将零件切割下料。排样如图 5-45 所示，零件可以和其他同板厚的大小不同的零件按照生产需要进行混合排列，以提高材料利用率和减少再加工率，也可以单独排列生产。

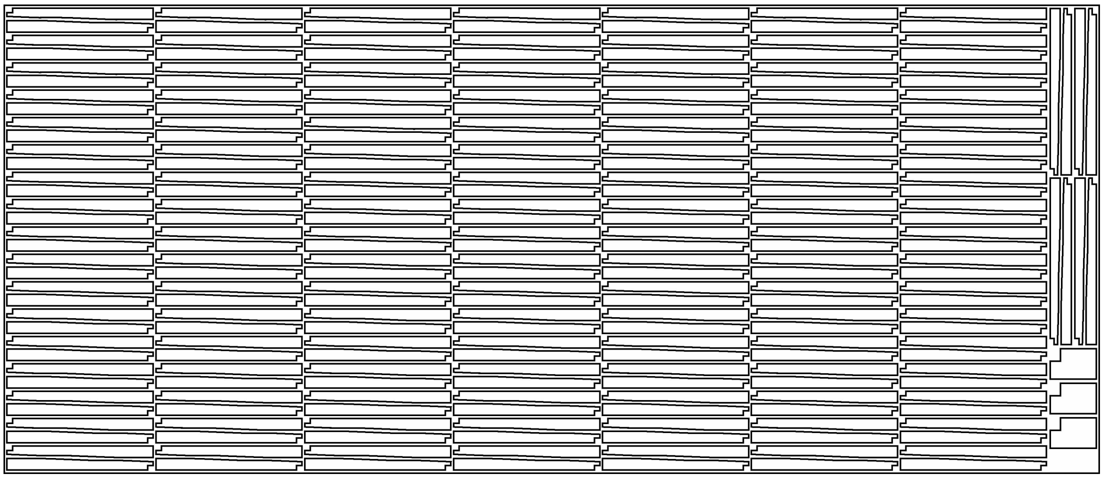


图 5-45　排样图

（2）制作手工模胎　根据零件形状制作图 5-46 所示的手工模胎，由型面、底座和定位三部分组成，然后焊接形成简易模胎，使用时可以将模胎用螺栓定位在工作平台上。

（3）敲打成形　当模胎固定好后，将下料得到的毛坯按图 5-47a 所示定位摆好，按箭头所指用铁锤敲打第一道弯；然后按图 5-47b 所示敲打第二个弯；最后按图 5-47c 所示敲打第三个弯。直到零件与模胎贴合，即完成型面。

5.7.2　数控折弯件

如图 5-48 所示的零件为前地板，是拖拉机驾驶室内部地板合件上的主零件，也是地板合件中最大的零件，材料为热轧普通薄板 Q235，厚度为 3mm，最小孔直径为 3.2mm，因为孔较多，相对位置精度要求较高，符合激光切割下料的要求，所以采用激光切割下料；零件存在 6 处折弯，折弯半径和角度一致，可采用通用模具进行折弯，所以该零件的加工工序为：采购毛坯→激光下料→酸洗→折弯→检验→成品入库。

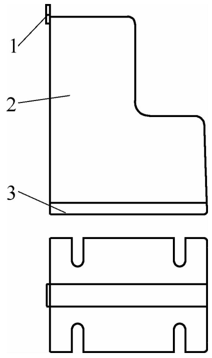


图 5-46　手工模胎

1—定位　2—模胎型面　3—底座

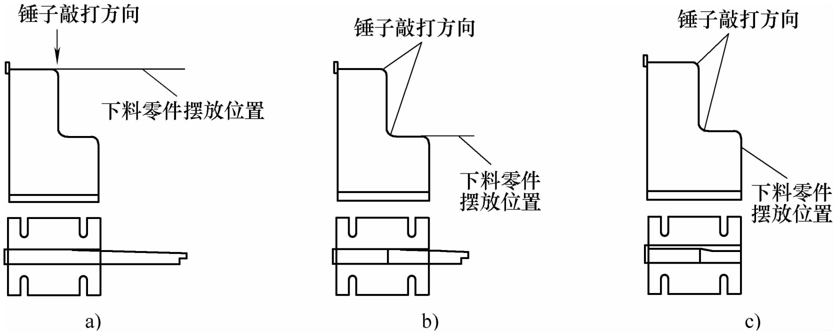


图 5-47　手工折弯工序

a）一次折弯　b）二次折弯　c）三次折弯

其成形过程为：

（1）下料　由于此零件为折弯件，因此要对零件进行折弯展开，折弯展开后图形如图 5-49 所示。

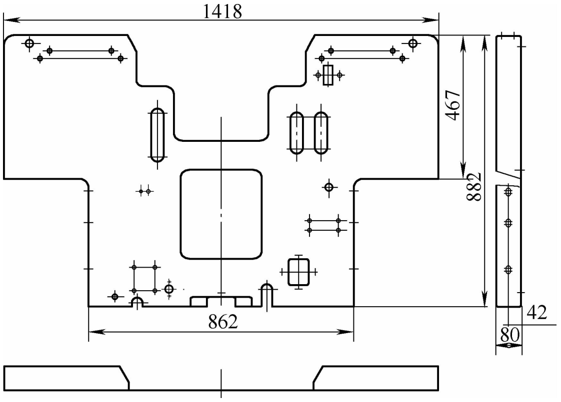


图 5-48　前地板

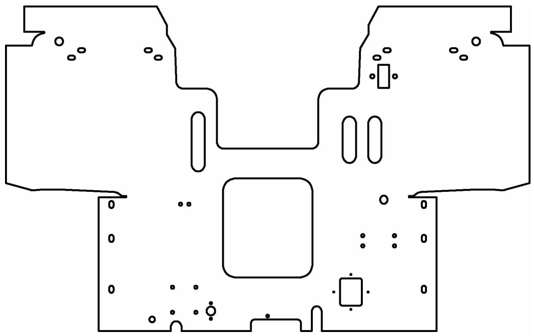


图 5-49　零件折弯展开图

根据得到的折弯展开图对零件进行排样，由于零件很大，可以和其他同板厚的大小不同的零件按照生产需要进行混合排列，以提高材料利用率和减少再加工率，但如果生产要求无法进行混排，可以将剩余材料进行收集以供后续生产其他零件时使用。排样如图 5-50 所示。然后根据排样图编制程序，将板料放在激光切割机上进行切割。

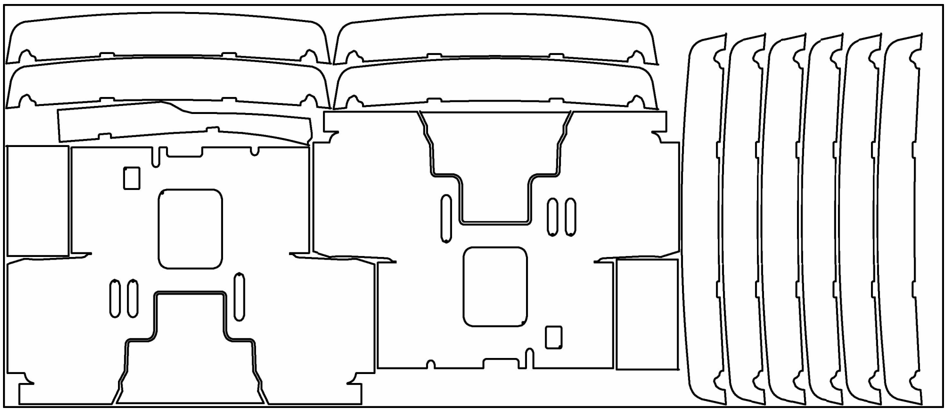


图 5-50　排样图

（2）折弯　由于折弯有 6 处，如图 5-51 所示，折弯 1 的两部分定位长度一致并在一条折弯线上，所以放在第一次折弯，之后按照折弯 2、3、4、5 的顺序依次调整折弯机定位来进行折弯，用数控折弯机和液压传统折弯机都可以完成，只要有通用的模具即可。由于左、右上角处为大圆弧且相交于折弯的交汇处，无法用折弯机进行折弯，所以只能通过手工进行折弯（见图 5-52）。完成后的成品如图 5-48 所示。

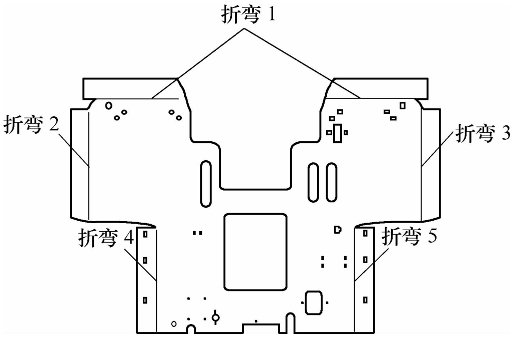


图 5-51　折弯顺序示意图

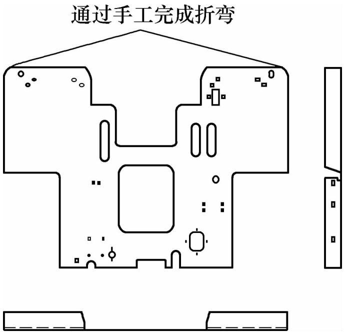


图 5-52　手工折弯部分

参 考 文 献

[1]　夏巨谌. 实用钣金工 [M]. 2 版. 北京：机械工业出版社，2002.
[2]　樊自田. 材料成形装备及自动化 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.
[3]　黄丰杰. 车身覆盖件的三维激光切割工艺研究 [D]. 长沙：湖南大学，2008.

第 6 章 工程机械冲压件制造技术

6.1 概述

6.1.1 工程机械冲压件的定义

凡土石方工程，流动起重装卸工程，人货升降输送工程，市政、环卫及各种建设工程、综合机械化施工以及同上述工程相关的生产过程机械化所应用的机械设备，统称为工程机械。工程机械冲压件是指构成工程机械的驾驶室（操纵室）或覆盖工程机械发动机、车轮、底盘等内部构件的薄金属板料的异形外表面零件，比如工程起重机、装载机的驾驶室、操纵室外表覆盖件，以及发动机罩、挡泥板等，如图 6-1 所示。

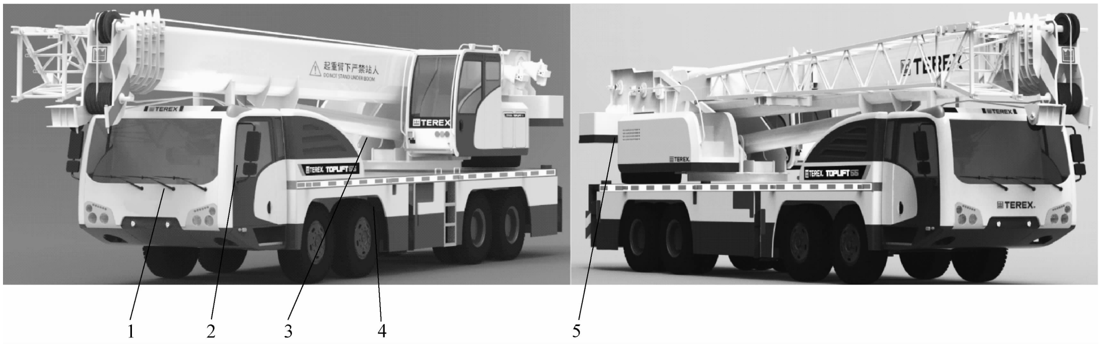


图 6-1 工程起重机的冲压件

1—驾驶室 2—发动机罩及机罩侧板 3—操纵室 4—挡泥板及围板 5—转台机棚

工程机械冲压件经焊接或组装后构成了工程机械驾驶室的外部和内部形状，它既是外观装饰性的零件，又可能是封闭薄壳状的受力零件，如图 6-2 和图 6-3 所示。

6.1.2 工程机械冲压件的特点

工程机械冲压件品种较多、批量较小、轮廓分明、材料较厚，不同用途的工程机械对冲压件的要求也不尽相同，大部分部件需要组焊完成。工程机械冲压件有如下特点：

1）表面质量要求高。外覆盖件表面不允许有波纹、皱纹、凹痕、划伤、擦伤、压痕等缺陷，棱线应清晰、平直，曲面应圆滑、过渡均匀。

2）刚性要好。覆盖件在成形过程中，材料应有足够的塑性变形，以保证零件具有足够的刚性。

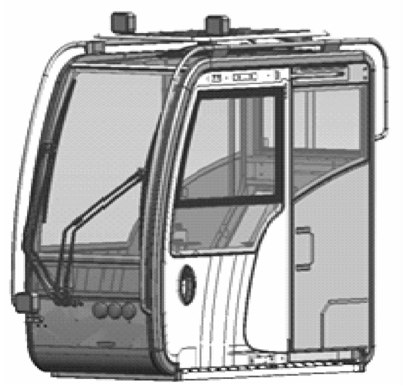


图 6-2 工程起重机操作室的冲压件

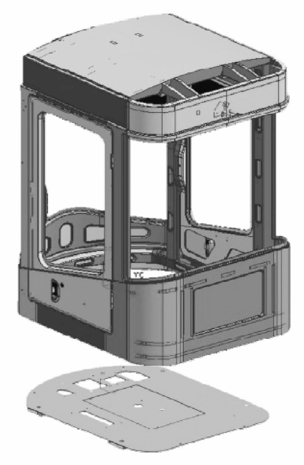


图 6-3 装载机操作室的冲压件

3）要有良好的工艺性。覆盖件应具有良好的冲压工艺性能和焊接工艺性能，以降低冲压和焊装的生产成本。

4）尺寸和形状 应与检具和样件（与焊装组件相匹配）相符。

6.1.3 工程机械冲压件的成形性质及变形特点

随着社会的发展，用户对工程机械外观造型及使用性要求在不断地改变，冲压件制造已经成为工程机械制造中重要的一个环节。根据不同的使用用途和生产工艺，冲压件通常采用薄钢板、中厚钢板制造，具有形状复杂（多为空间曲面）、轮廓尺寸大、表面质量要求较高（不允许有波纹、皱纹、凹痕、划伤、擦伤、压痕等缺陷）等特点。目前工程机械覆盖件通常采用冲压、弯曲、焊接等方法加工而成。

6.1.4 工程机械冲压件生产技术所涵盖的内容

工程机械冲压件由于类型较多，生产过程也比较复杂，有与汽车冲压件相类似的产品，但也有其独特性。整个制造过程涵盖的内容也非常广泛，主要包括冲压工艺设计、模具材料选用、模具结构设计与制造以及冲压板材选用等内容。由于工程机械产品单一、批量较小，通常选择通用型机械、液压类压力机组成的冲压生产线或单台液压机，送料和取件多采用人工方式；为了减少模具开发投入，一般只制作拉深成形工序的模具，后续工序采用手工或机械加工，如钻孔、激光切割等。

冲压生产主要使用板料加工零件，由冲压设备、冲压模具和板材三个基本要素构成。要求具备与产能规划相适宜的场地、冲压设备、模具、辅助设备等；要求拥有一支冲压技术专业人员队伍，包括模具设计人员、模具制造与装配调试人员、模具维护人员，生产管理人员、市场人员等。

6.2 工程机械冲压件的分类与演变

6.2.1 工程机械冲压件的分类

工程机械行业是一个范围很广的行业，可分为八大子行业：挖掘机械行业、铲运机械行

业、机动工业车辆行业、工程起重机械行业、道路工程机械行业、城市建设机械行业、凿岩机械行业及专用配套件行业。2011 年中国机械工业协会按产品用途统计分类，将工程机械由原来的 18 大类扩充为 20 大类，包括：挖掘机械、铲土运输机械、工程起重机械、机动工业车辆、压实机械、路面施工与养护机械、混凝土机械、掘进机械、桩工机械、市政与环卫机械、混凝土制品机械、高空作业机械、装修机械、钢筋及预应力机械、凿岩机械、气动工具、军用工程机械、电梯及扶梯、工程机械配套件、其他专用工程机械等。本书中以工程机械车辆为分类基础，对工程机械冲压件进行说明。

1. 按用途分类

1）汽车起重机类驾驶室（操纵室）外覆盖件（以薄板为主）。

2）非公路用车驾驶室（以中厚板及型材为主）。

3）底盘覆盖件。

4）车架。

2. 按工艺特点分类

1）平板类冲压件。

2）拉深冲压件。

3）折弯冲压件。

4）弯曲成形件。

6.2.2　工程机械冲压件的演变

汽车是人类历史上最重要的发明之一，被誉为“改变世界的机器”。汽车的出现，改变了人们的生活方式。工程机械车辆是从汽车演变而来的专用车辆。随着车型的变化，工程机械冲压件也在不断发展和进步，由原来的单一实现专用功能向人性化、舒适性方面发展，在汽车上使用的新技术也在不断地被引用和吸收，如轻量化、节能减排、安全可靠性等方面。

6.3　工程机械冲压件常用材料

6.3.1　板材的分类

板材是指各种形状的半成品，如薄板、中板、厚板、窄带材、带材等。分类如下：

1）按厚度分：厚板（4mm 以上）、中板（2 ~ 4mm）、薄板（2mm 以下）。

2）按轧制状态分：热轧钢板、冷轧钢板。

6.3.2　工程机械冲压件对原材料的要求

1）材料的表面必须没有分层现象，并且表面没有明显的力学性能损伤。

2）材料的表面必须光洁平整、无划痕、无杂质、无气孔和缩孔。

3）材料表面应无锈斑、无氧化皮及其他附着物。

在冲压生产中，选择表面质量好的材料，在变形过程中不易破裂，并且不易损伤模具和工具，可获得表面光洁、质量较好的冲压件。

6.3.3 工程机械冲压件常用材料

1）普通冷轧钢，主要有 DC01、DC03、DC04、DC05、DC06 等。

2）加磷钢，主要有 B170P1、B210P1、B250P1、B180P2（BP340）、B220P2（BP380）等。

3）烘烤硬化钢，主要有 B140H1、B180H1、B180H2 等。

6.4 工程机械冲压件制造常用设备

6.4.1 概述

（1）压力机的定义　压力机是用来对放置于模具中的材料实现压力加工的机械。

（2）压力机的分类　根据产生与传递压力的机理来分类，主要有以下几类：

1）使用液体传递压力的为液压机。

2）使用气体传递压力的为气动压力机。

3）以电磁力做功的称为电磁压力机。

4）以机械机构传递压力的为机械压力机。

工程机械生产常用的设备有机械压力机和液压机两大类。

6.4.2 机械压力机

常用的机械压力机主要是曲柄压力机，它是材料成形（塑性成形）中广泛应用的设备，通过曲柄连杆机构获得材料成形时所需的力和直线位移，可完成冲压、挤压、锻造等工艺，广泛应用于汽车工业、工程机械、农业机械、航空工业、电子仪表工业、五金轻工等领域。

1. 机械压力机结构组成

机械压力机一般由以下几个基本部分组成

（1）工作机构　一般为曲柄滑块机构，由曲轴、连杆、滑块、导轨等零件组成。其作用是将传动系统的旋转运动变成滑块的往复直线运动，承受和传递工作压力，在滑块上安装有模具。

（2）传动系统　包括带传动和齿轮传动等机构。其作用是将电动机的能量和运动传递给工作机构，并对电动机的转速进行减速，使滑块获得所需的行程次数。

（3）操纵系统　如离合器、制动器及其控制装置。其作用是用来控制压力机安全、准确地运转。

（4）能源系统　如电动机和飞轮。飞轮能将电动机空程运转时的能量吸收并积蓄起来在冲压时再释放出来。

（5）支承部件　如机身，把压力机所有的机构连结起来，承受全部工作变形力和各种装置的各个部件的重力，并保证全机所要求的精度和强度。此外，还有各种辅助系统与附属装置，如润滑系统、顶件装置、保护装置、滑块平衡装置、安全装置等。

2. 机械压力机分类和特点

（1）按机身的结构形式分类　机械压力机可分为开式压力机和闭式压力机。

1）开式压力机。机身形状类似英文字母 C，机身前面及左右均敞开，操作空间大，但机身刚度差。所以，这类压力机的吨位都比较小，一般在 2000kN 以下。开式压力机又可分为单柱压力机和双柱压力机两种。双柱压力机的机身后壁有开口形成两个立柱，故称双柱压力机。双柱压力机便于向后方排料。此外，开式压力机按照工作台的结构特点又可分为可倾台式压力机、固定台式压力机、升降台式压力机。

2）闭式压力机。机身左右两侧是封闭的，只能从前后方向接近模具且装模距离远、操作不太方便。但因为机身形状对称、刚度好、压力机精度好，所以压力超过 2500kN 的大、中型压力机几乎都采用此种形式，某些精度要求较高的小型压力机也采用此种形式。

（2）按运动滑块的个数分类　机械压力机可分为单动、双动和三动压力机。目前使用最多的是单动压力机，双动和三动压力机则主要用于拉深工艺。

（3）按与滑块相连的曲柄连杆数分类　机械压力机可分为单点、双点和四点压力机。曲柄连杆数的设置主要根据滑块面积的大小和使用目的而定。点数多的机械压力机，滑块承受偏心负荷的能力大。

（4）按传动机构的位置分类　机械压力机分为上传动式和下传动式两类。下传动压力机的传动机构设于工作台的下面，其重心低、稳定性好，但要建造相当大的地坑，且维修较困难。

6.4.3　液压机

1. 液压机工作原理

液压机是根据帕斯卡原理制成的，它利用液体压力能来驱动机器工作。根据帕斯卡原理：在密闭的容器中，液体压力在各个方向上是相等的，且压力将传递到容器的每一点。

2. 液压机的特点

液压机是静压作用的机器，靠液体静压力使工件变形，这是与其他锻压设备（如曲柄压力机，锻锤、螺旋压力机）的基本不同点，除此之外液压机还具有以下特点：

1）容易获得大的压力。设备吨位越大，液压机该优点越突出，而靠机械机构传递能量的压力机，压力的增大受到构件强度的限制。

2）工作压力可以调整。有的液压机在一个工作循环中可以用几级工作压力超载控制，使模具也受到保护。

3）容易获得大的行程。液压机容易获得大的工作行程，并在行程的任意位置上都可产生额定最大压力和长时间持续保压。这对长行程的压制工艺特别有利，如板料的深拉深、型材的挤压等。

4）调运方便。可调节液压系统实现各种行程速度，这种调速是无级的，操作方便。

5）液压机结构简单，能够适应多品种生产。

6）工作振动及噪声小。液压机工作平稳，撞击、振动和噪声都较小，对厂房基础要求低，对环境保护及改善工人劳动条件有利。

7）易于实现自动化生产。但是，液压机也有一些缺点。如对密封技术要求较高，密封差产生液体渗漏会影响机器的效能，污染环境。由于液体的流动阻力，液压机的最高工作速度受到限制。

6.5　冲裁件制造技术

6.5.1　冲裁件类型

冲裁是工程机械冲压工艺中最基本的工序之一，既可直接冲出成品零件，又可为弯曲、拉深和成形等其他工序制备毛坯。冲裁工序在工程机械制造中的种类很多，常用的有切断、落料、冲孔、切口、切边等。一般情况下，冲裁主要是指落料和冲孔。

（1）剖切工序　一般用于工程机械顶盖、前围横梁等中心对称产品。如图 6-4 所示为一起重机下操室中间顶盖，此类产品系列较多，要与工作环境、工程设备、辅助设备等相匹配。一个型号可能出现多种宽度要求，这时候就要将产品从中心对称部位切断，然后在左、右部位焊接一个对称件，以适应多种系列产品的要求。

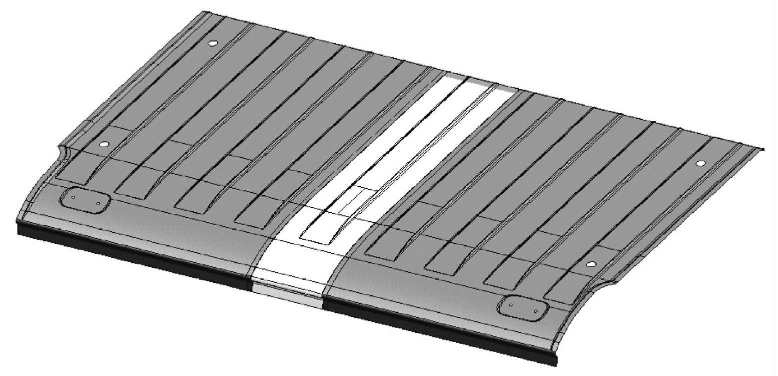


图 6-4　剖切工艺应用

（2）切口工序　一般用于工程机械地板等产品，如图 6-5 所示，此类产品展开尺寸相对方正、规则，而材料较厚、拉伸强度大，机床压力往往满足不了加工要求。这类模具一般先下料，然后将不规则的缺口单独剪切掉，从而减小模具剪切时所需的压力。

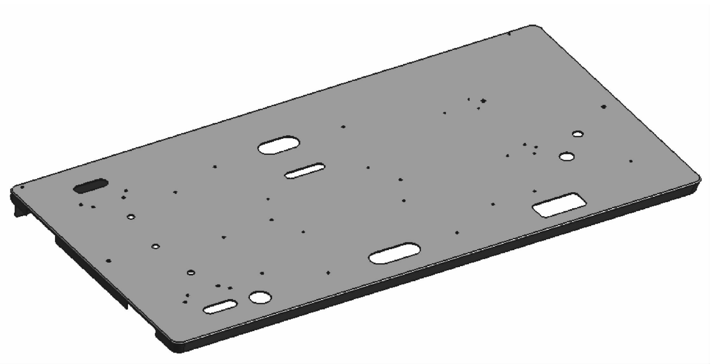


图 6-5　地板切口工序

6.5.2　冲裁件工艺性分析

分析冲裁件工艺性，主要是指分析冲裁件对冲裁工艺的适用性。一般情况下，对冲裁工

艺性影响最大的是几何形状、尺寸和精度要求。良好的冲裁工艺性应能满足材料省，工序少，模具结构简单、加工容易、寿命较长、操作安全方便，以及产品质量稳定等要求。

（1） 冲裁件的结构工艺性

1） 几何形状。冲裁件形状尽可能设计成简单对称和符合材料合理排样的要求。工件采用条料两端裁切圆弧的方式成形时，圆弧的半径应超过料宽的一半，即可用于少废料排样；若限定 $R=B/2$，则不能用于少废料排样，以免因送料偏移而产生台阶。

2） 最小圆角半径。冲裁件的转角处应有一定的圆角，其最小圆角半径允许值见表 6-1。如果是少废料或无废料排样冲裁，或者采用镶拼模具时可不要求冲裁件有圆角。圆角大大地减小了应力集中，有效地减少了冲模开裂现象的发生。

表 6-1　冲裁件的最小圆角半径允许值

工序	连接角度/(°)	黄铜、纯钢、铝	软钢	合金钢
落料	≥90	0.18t	0.25t	0.35t
	<90	0.35t	0.50t	0.70t
冲孔	≥90	0.20t	0.30t	0.45t
	<90	0.40t	0.50t	0.90t

注：t 为料厚。

3） 冲裁件上的悬臂和凹槽。如果冲裁件上有悬臂和凹槽，其尺寸要满足强度要求。

4） 冲裁件孔的最小尺寸。冲裁件上孔的尺寸受到凸模强度和刚度的限制，不能太小，冲孔的最小尺寸见表 6-2。

表 6-2　冲裁件孔的最小尺寸

材　　料	自由凸模冲孔		精密导向凸模冲孔	
	圆形	矩形	圆形	矩形
铝	0.8t	0.5t	0.3t	0.28t
软钢、黄铜	1.0t	0.7t	0.35t	0.3t
硬钢	1.3t	1.0t	0.5t	0.4t

注：t 为料厚。

5） 最小孔边距、孔间距。当冲孔边缘与工件外形的边缘平行时，其距离不应小于材料厚度的 1.5 倍；当冲孔边缘与工件外形的边缘不平行时，其距离不应小于材料厚度，如图 6-6所示。

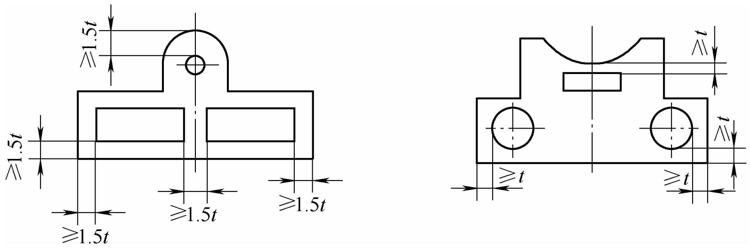


图 6-6　最小孔边距、孔间距

（2） 冲裁件的质量及其影响因素　冲裁件的质量是指冲裁件的断面状况、尺寸精度和形状误差。冲裁件的断面应尽可能垂直、光滑、毛刺小；尺寸精度保证在图样规定的公差范围内；冲件外形应符合图样要求，表面尽可能平直。影响冲裁件质量的因素很多，主要有材

料性能、间隙大小及均匀性、刃口锋利程度、模具结构及排样（冲裁件在板料或条料上的布置方法)、模具精度等。

（3） 冲裁件的精度和断面表面粗糙度

1） 精度。冲裁件的经济精度一般不高于 IT11 级，最高可达 IT8 ~ IT10 级。冲孔比落料的精度约高一级。

2） 断面表面粗糙度。冲裁件的断面表面粗糙度值 Ra 一般为 12.5 ~ 50μm，最小可达 6.3μm。

6.5.3 冲裁件排样

排样是否合理、经济，可用材料利用率来衡量。材料利用率是指零件的实际面积与材料面积的百分比。要提高材料利用率，主要应从减少工艺废料着手，即设计合理的排样方案，选择合适的板料规格及合理的裁料法，利用废料冲制小件。同时，在不影响设计要求的情况下，改善零件结构，尽量减少结构废料。

提高材料利用率常用措施如下：

1） 合理确定搭边值。

2） 合理确定送料步距。

3） 合理确定送料宽度。

4） 综合评价条料利用率，从而优化整块板料的利用率。

5） 合理利用结构废料冲小零件。

6.5.4 模具压力中心

冲裁时冲裁力的合力作用点称为压力中心。为保证压力机和冲模正常平稳地工作，在设计模具时，必须使冲模的压力中心与压力机滑块中心重合，对于带模柄的中、小型冲模，要求模具的模柄中心（一般情况下也是凹模的几何中心）与压力中心重合；对于要求不高或冲裁力较小、间隙较大的模具，压力中心不允许超出模柄投影面积范围，否则产生偏载，使模具导向部分偏斜，影响凸凹模间隙，加速模具磨损，降低制件质量和模具寿命，造成严重的后果。确定压力中心就是为了合理地确定模具结构。

求压力中心的方法：解析法、图解法、试验法。

6.5.5 模具凸、凹模刃口尺寸

凸、凹模刃口尺寸精度合理与否，直接影响冲裁件的尺寸精度及合理间隙值能否保证，也关系到模具的成本和使用寿命。因此，计算凸、凹模的刃口尺寸是一项重要的工作，需考虑以下原则：

1） 保证冲出合格的零件。

2） 保证模具有一定的使用寿命。

3） 冲模制造修理方便，成本降低。

计算冲模凸、凹模刃口尺寸的依据有如下一些：

1） 冲裁变形规律，即落料件尺寸与凹模刃口尺寸相等，冲孔尺寸与凸模刃口尺寸相等。

2）零件的尺寸精度。

3）合理的间隙值。

4）磨损规律，如圆形件凹模尺寸磨损后变大，凸模磨损后变小，间隙磨损后变大。

5）冲模的加工制造方法。

6.6 拉深件制造技术

6.6.1 拉深件工艺设计前的准备工作

在拿到冲压件进行工艺设计前，必须查阅有关资料，以便明确产品的具体要求、现有的条件等，为设计合理而可行的冲压工艺做好必要的准备。这些资料主要包含：

1）零件图或产品图，可以参考的模型。

2）冲压件的公差。

3）类似零件的成形性及作业性的有关资料、曾出现的各种质量问题及解决方法。

4）关于产品所用钢材的有关资料，如材料的各项性能参数值、表面质量等。

5）各种模具设计的标准和模具零件的规格。

6）现有压力机的参数和附属装置、生产率等方面的资料。

6.6.2 拉深变形过程分析

在工程机械行业中，零部件中的结构件较复杂，它们受使用材料、使用环境直接影响，与轿车相比有很大区别。比如立柱、侧围、车门等外板件材料厚度多采用 1.2mm，地板、前围内板、保险杠等的材料厚度多采用 1.5mm。

外板件特点：工程机械外观造型一般较平缓，且材料较厚，成形力大、塑性变形不足。

内板件特点：材料厚、成形力大、高低起伏大，材料流动不易控制，各部分变形不均匀。

（1）产品分析　通过对零件图进行研究，应该了解该零件所应具有的功能，所要求的单个零件的强度，表面质量以及相关零件之间所要求的相关精度，并明确下列事项：

1）零件轮廓、法兰、侧壁及底部是否有形状急剧变化的部分，负角的部位等，以及其他成形困难的形状。

2）该零件和有关零件的焊接面、装配面、镶嵌面有什么要求。

3）孔的精度（直径、位置）、孔和孔的间距的要求，这些孔的位置在何处（平面部分、倾斜部分、侧壁部分）。

4）各个凸缘精度允许达到什么程度（包括长度、凸缘面的位置、回弹）。

5）焊接、装配的基准面和孔在何处。

6）零件冲压成形需要解决的重点问题有哪些。

7）材料的利用率如何。

在进行工艺设计之前，必须对零件进行合理全面的工艺分析。根据零件本身的原始信息（包含产品的材质、料厚、产品形状），冲压件的公差和车身装配位置，客户和本工厂的压力机参数和生产方式（自动化生产线、手工生产线），冲压件的生产批量大小以及客户提出的模具设计的技术要求来进行冲压件的工艺分析。工程机械受使用范围、环境、功能等限制，一般使用范围很局限，在有限的范围又要适应不同的需要。因此，这类产品批量较小，

企业生产时为降低成本，提高市场竞争力，同类别产品尽量要做到系列化、通用化。工艺设计前期很重要的工作还必须对市场、产品拓展进行统筹分析，在模具设计中尽量使模具能够实现一模多用，最大限度降低后期生产成本。同样，基于成本和生产灵活性等因素综合考虑，自动化生产线一般不适用于工程机械类模具的生产。手工生产线就可结合机床特点、产品特点、生产工艺、产能等综合因素来合理匹配。像深拉深类、厚板料拉深类就较适合采用液压机以减少拉深破裂和回弹，浅拉深等产品就适合采用机械压力机以提高生产效率。

（2）冲压方向确定　确定冲压方向必须考虑以下几个重点：

1）保证凸模能够顺利进入凹模，尽量避免负角。

2）凸模开始拉深时与拉深的毛坯的接触状态。接触面积要大，尽量靠近中间，接触地方要多，要分散。

3）压料面各部分进料阻力要均匀。

（3）零件压料面和分模线确定　压料面是工艺补充部分的一部分，指凹模圆角半径以外的那一部分。压料圈将拉深毛坯压紧在凹模压料面上，凸模对拉深毛坯进行拉深，不但要使压料面上的材料不皱，更重要的是保证拉入凹模的材料不皱又不裂。分模线是凸模和压边圈的分界线，通常是指压料面和凸模面延伸所产生的那条线。基本上压料面和分模线的形状和好坏很大部分决定了冲压件的拉深质量的好坏。

压料面一般有两种情况：

1）压料面就是覆盖件本身的凸缘部分。

2）压料面是工艺补充而形成的。

确定压料面的形状必须满足以下要求：

1）尽量降低拉深深度。

2）凸模对拉深毛坯一定要有拉深状态产生。

3）压料面的展开长度必须比凸模展开长度短。

4）压料面所形成的夹角必须比凸模的夹角大。

5）压料面形状尽量简单化，尽量采用水平压料面。

6）压料面应使成形深度小，且各部分深度接近一致。

7）压料面应使毛坯在拉深成形和修边工序中有可靠的定位，并考虑送料和取件方便。

8）当覆盖件底部有反成形时，压料面必须高于反成形形状的最高点。

9）不要在某一方向产生很大的侧向力。

合理的拉深方向、压料面选取以及工艺补充面的设置会对零件的质量产生很大影响。合理的拉深方向不仅是获得理想拉深件的保证，而且将对后续冲压工序安排产生较大的影响。比如，除了采用常规方法确定拉深方向外，对于一些左右件对称半敞开的空心覆盖件常采用成双拉深的方法，这种方法可以消除工件因受力不均而引起的毛坯移动，改善冲压条件，提高拉深件的质量；合理的压料面不仅能保证压料面上的材料不起皱，还可以保证拉入凹模的材料不皱不裂；对于一些形状复杂，结构不对称的覆盖件，直接成形较困难，设置必要的工艺补充面和工艺切口有利于改善拉深工艺性，提高拉深件的质量。

6.6.3　工艺控制处理措施

（1）外板件工艺控制措施

1）产品预处理。工程机械侧围总成等产品造型一般以平面为主，变形不足时，在大平面会产生鼓面效应，工作时会产生噪声。长期受振动和工作中各种力的作用，这些截面由直线的平面区域因变形扭曲而产生内凹，在外表面形成漫反射折光。工艺设计前应根据产品造型变化，结合产品功能和力的相互作用，在保持与整体造型风格吻合的情况下进行适当圆弧隆起处理。例如，在起重机驾驶室侧围模具开发中，侧围总成呈平面造型，将平面区域顺着起重臂方向趋势沿中间轴整个圆弧鼓起 0.5 ~2.0mm。这样与产品造型风格保持一致，同时面质量和产品成形性得到显著提高。

2）过拉深处理。对于立柱、侧围等外覆盖件，制件 R 小，不利于成形，且外表面常常有高低起伏造型，以展现工程机械产品力量感。这些区域往往易于破裂并伴随起皱，表面变形程度较小。如图 6-7 所示，工艺设计时要对裂纹、起皱进行控制。

3）增加造型。对于后围、侧围等中间开孔或不规则的产品，尽量在废料区域增加造型；对于顶盖、盖板等带法兰边的产品，尽量在拉深的前期成形出模糊形状，后期再整形，以增加拉深前期产品变形。如图 6-8 所示，对拉深工序进行工艺补充处理，增加变形量。

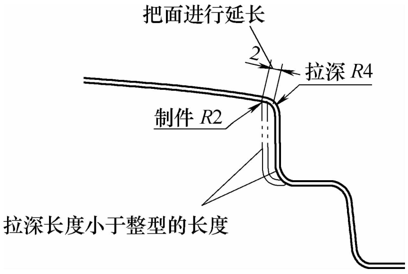


图 6-7　过拉深处理方式

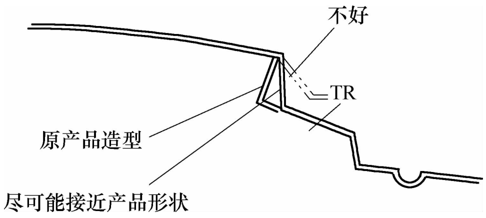


图 6-8　工艺补充处理，增加变形量

（2）内板件工艺控制措施

1）选择合适的冲压角度。

2）压边圈、工艺补充控制。工程机械内板件高低急骤起伏，压边圈也常随产品层峦起伏。压边圈与凹模压合瞬间，板料相对较复杂。工艺补充部分对前期产品接触和后期滤平、消皱起着至关重要的作用。有些产品材料像横梁、地板、前围内板、加强板常采用 1.5 ~2.0mm 材料，这些模具的压边圈一般不设计拉深筋来增加进料阻力，压边圈、工艺补充部分好坏直接影响产品质量。

图 6-9 所示为某工程机械后横梁产品，材料为 DC03 ，料厚 2.0mm。属于裸露在驾驶室后端的外板件，外形呈“Z”字造型，高低起伏达 240mm，后续工序多。对于这类特异性产品，首先要确定好合理的拉深角度，直接按产品角度拉深，产品侧壁面会出现严重的起皱和拉痕。旋转角度过大，垂直折边又需单独增加一套模具。对拉深角度微调，以最佳角度来兼顾两方面。通过 CAE 软件分析，产品旋转 10°后，侧壁面拉深过程中起皱得到一定的抑制，但在拉深到位后因在拉深过程中产生的褶皱而留下痕迹。产生原因主要因为各型面拉深角度不一致，导致各段进料速度不一。在工艺补充部分增加余量，来增加陡峭区域的进料速度，从而解决产品成形质量问题。

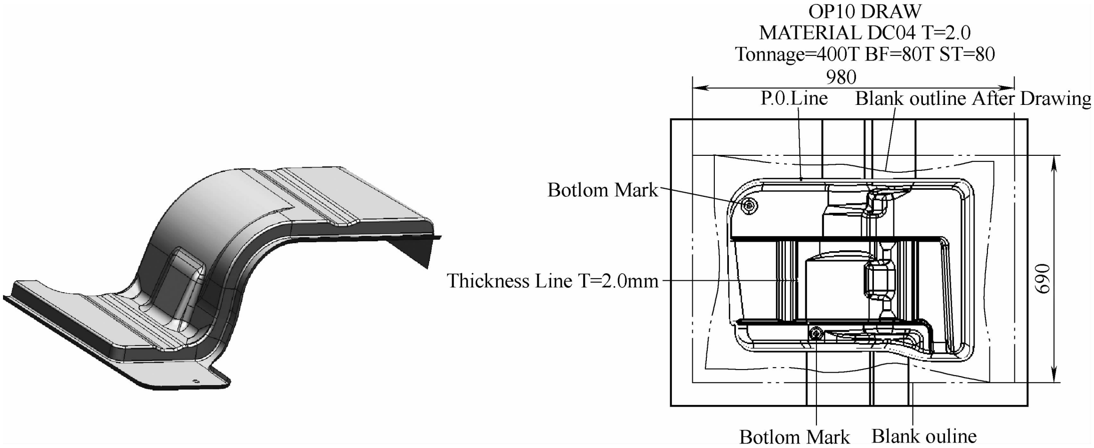


图 6-9　某工程机械后横梁产品图、拉深工序图

6.6.4　CAE 分析

工程机械产品若要满足市场的需求，必须在增加产品科技含量的同时，在产品外形上做文章，吸引用户。外观设计逐渐朝“仿生学”方向发展，外观造型变得更加圆润、有灵性。覆盖件成形加工生产再依靠传统经验设计来制订冲压工艺、开发相关模具，具有相当大的随意性和不确定性。然而板料成形的力学过程及成形影响因素非常复杂，是一个集几何非线性、材料非线性、接触非线性于一体的强非线性问题，用传统的解析方法很难求解。目前，板料冲压过程的计算机分析与仿真技术（非线性有限元分析技术）已能在工程实际中帮助解决传统方法难以解决的模具设计和冲压工艺设计难题，对于薄板料、中厚板料 CAE 已得到广泛的运用，在工程机械行业产品的质量提升方面取得了显著的效果。如计算金属的流动、应力应变、板厚、模具受力、残余应力等，预测可能的缺陷及失效形式，如起皱、破裂、回弹等。在工程机械覆盖件的设计中，采用数值模拟技术能从设计阶段准确预测各种工艺参数对成形过程的影响，进而优化工艺参数和模具结构，缩短模具的设计制造周期，降低产品生产成本，提高模具和冲压件产品品质。

覆盖件冲压模拟所采用的有限元方法是弹塑性有限元法。弹塑性有限元法在板材成形数值模拟领域采用 Lagrange 描述，不仅能计算工件的变形和应力、应变分布，而且还能计算工件回弹和残余应力，是板材成形数值模拟的主要方法。

（1）板料的弹塑性变形的有限元方法　求解步骤：建立冲压过程的力学模型→建立相应的有限元分析模型→根据板料变形特性选定壳体单元类型并确定有关参数→根据板料变形特性选定弹塑性本构关系及有关参数→根据板料和模具的表面特性及其润滑状态选定摩擦定律及参数→对压料板的刚体运动和板料的弹塑性变形进行求解。

（2）CAE 在工艺和成形中的应用

1）快速模拟，为工艺设计提供合理的工艺方案。

2）拉深模的模拟分析，发现所有与成形有关的问题，与负责工艺、设计部门协调，提供解决方案。

3）全工序的模拟分析，修边线展开分析，提供优化的修边线；后续翻边整形模拟

分析。

4）回弹的模拟分析，预测回弹的趋势和大小（有必要反复计算）；与负责工艺、设计、现场调试等的部门协商，提供回弹解决方案。

（3）CAE 板料成形过程中常见的缺陷和解决措施

1）开裂。开裂主要是由于材料在拉伸过程中，超过其拉伸极限，发生失稳，如图 6-10 所示。

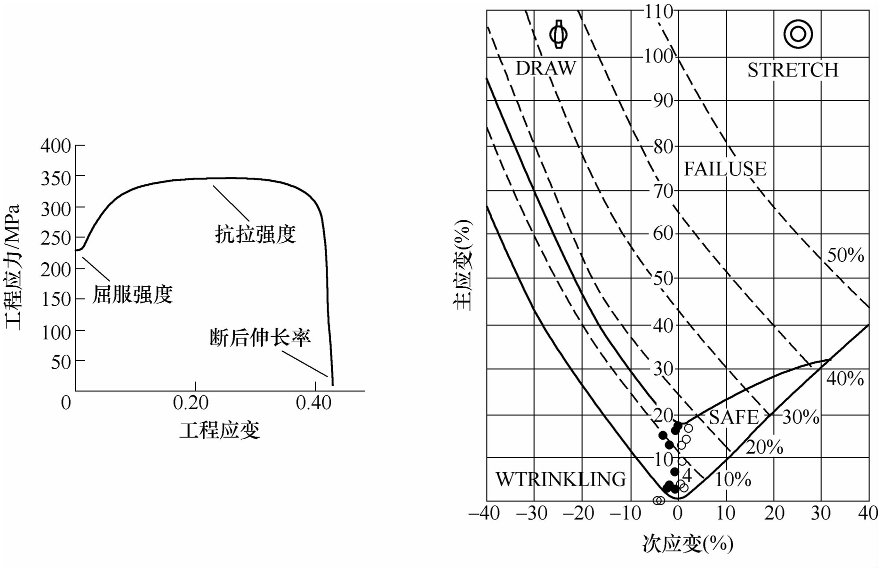


图 6-10　CAE 分析常用参数表

减少开裂的措施如下：

① 减少应变（调整工艺补充、压料面、毛坯大小、拉深筋等，加破裂刀等）。

② 更换拉深性能更好的材料。

③ 增加辅助工序（整形等）。

2）起皱。起皱的主要原因：板料在成形过程中发生压缩失稳。由于板料厚度方向尺寸与板料平面上其他两个方向的尺寸相比很小，因此厚度方向不稳定，当平面应力达到一定程度，厚度方向会发生失稳，导致起皱。

引起起皱的几种应力状态，如图 6-11 所示。

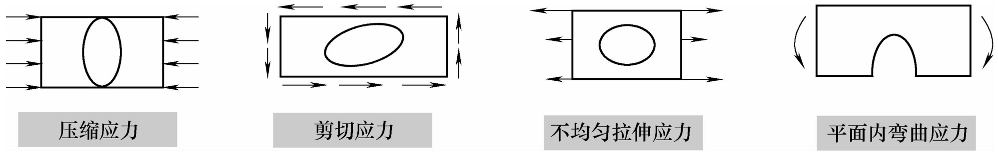


图 6-11　板料成形应力状态

起皱解决措施如下：

① 产品设计（降低拉深深度，避免形状的积聚变化；增加吸皱的造型特征等）

② 冲压工艺（在工序排布、毛坯尺寸、压料面形状等方面进行改善）

③ 表面质量问题。表面质量问题可分为表面刚性不足（凹坑、塌陷等）、表面扭曲、冲击线和滑移线几类。

① 表面刚性不足是由于拉深成形不充分，变形量较低引起的。

② 表面扭曲与起皱的原因类似，程度较起皱轻。

③ 冲击线和滑移线：板料与模具接触后，在应力集中处摩擦造成的表面划痕。

表面质量问题解决措施如下：

① 均匀各向拉深，尽量保证拉深深度一致，保证同时触料。

② 调整毛坯的流动，使缺陷不在 A 级面出现（避免可能产生的冲击滑移线）。

（4）工程机械厚板料 CAE　与薄板料零件相比，厚板料零件在冲压成形及其 CAE 技术方面有如下特点：

1）从材料方面讲，厚板料零件的材料一般采用热轧碳素钢板或热轧低合金高强度钢板。与冷轧薄板料相比，热轧厚板料的表面质量差、厚度公差大、材料力学性能不稳定，并且由于材料的伸长率较低，获得有效硬化曲线数据的应变范围较窄（工程应力达到抗拉强度之前的部分有效），硬化曲线一般不采用正应力应变曲线，而是采用幂指函数来替代。

2）厚板料零件一般是以梁类结构件为主，其成形方式主要为弯曲，并伴有局部的伸长类或压缩类翻边，少数情况下还包括胀形。成形时一般不采用压边圈，但都有背压垫，冲压工艺设计相对简单。单从判定零件冲压结构工艺性角度而言，通过经验数据和简单的一步法计算即可实现，因此一般不需要经过冲压成形 CAE 评估。

虽然厚板料零件冲压成形 CAE 评估的需求相对于薄板料零件要少得多，但随着厚板料零件材料强度级别的不断提高，回弹所造成零件尺寸精度的问题越来越严重，模具设计和后期的工艺调试都要求对零件回弹的性质及大小有所了解，以便采取相应的对策和补救方案。因此，厚板料零件冲压成形 CAE 技术的工作重点在于对零件回弹趋势的准确判断和对其量值的合理估算。

3）对于厚板料零件，其弯曲半径与板厚之比一般都很小，板厚方向的应力及其应力变化不容忽视，即弯曲部位的应力状态为三向应力状态。因回弹计算时弯曲部位的应力状态对回弹变形影响极大，故不宜采用壳单元进行厚板料零件成形及回弹计算。

另外，采用实体单元将会给动力显式算法带来麻烦。因为动力显式算法中的临界时间步长与单元上两节点间的最小距离成正比，采用实体单元后（一般料厚方向上的单元要分 3 层以上）临界时间步长将大大减小，从而使计算费用大幅提升。并且由于弯曲成形时边缘较大面积的毛坯处于自由状态，为了有效控制动力响应问题，凸模虚拟速度一般要小于 2m/s，这将进一步增加计算时间，增大计算成本。

4）成形失效开裂判定准则是冲压零件能否通过成形性评估的主要依据，从目前情况来看，厚板料零件成形失效开裂判定准则还不十分完善，而对于薄板料零件成形的 FLD 图则很难直接用于厚板料零件的成形性分析，尤其是冲裁后毛坯边缘存在硬化和撕裂情况下的成形极限判定。

5）展望。从目前国内发展来看，厚板料零件冲压成形 CAE 技术达到工程实用阶段还需要解决一系列的问题。从材料方面讲，首先是如何准确地描述材料的屈服、流变和卸载行

为，如果对材料的屈服、流变和卸载行为描述不正确，则很难得到正确的计算结果。其次，厚板料零件成形极限判定的问题还没有得到很好解决。最后，热轧板厚度尺寸及力学性能的波动对实际生产中零件回弹变形影响非常大，如何保证板料尺寸公差和力学性能的稳定是钢铁生产企业需要面对的问题。从计算方面讲，目前国内没有比较成熟的工艺分析、回弹计算的规范，这也不利于我国厚板料零件冲压成形 CAE 技术的发展。

6.6.5　同步工程

同步工程又称工艺同步工程（PSE），是对产品开发及其相关（制造和支持等）过程进行集成、并行的系统化工作模式。它特指工艺审核与产品研发同步，协助产品设计部门优化产品制造工艺，改善并提高产品的可制造性，使产品更容易在制造阶段实现。

工程机械产品造型趋于奇特、怪异，如图 6-12 所示，同步工程提前介入是保证产品交货周期、提高产品质量、降低生产成本的有效措施。由于工艺及相关过程的提前介入，将原本要留到工艺实施或者其他相应阶段时才可能会暴露的问题提前至产品研发期暴露并予以解决，以期使产品研发和后期的工艺实施等尽量实现无缝对接，通过防止产品研发和生产实际脱节来缩短产品的研发周期、降低研发的成本投入同时整合并提高产品质量。工程机械模具产品冲压工程化既要保证产品功能性、安全性、美观性要求，又要兼顾产品可维修性、可操作性要求。

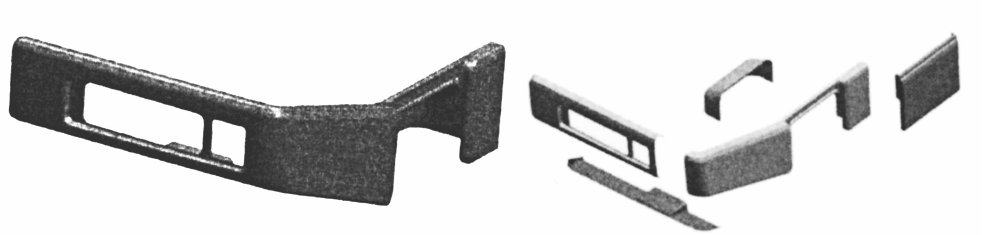


图 6-12　保险杠产品图与工艺分解图

工程机械产品同步工程主要包括以下内容：

1）模型优化。主要对车身分块线、零件表面质量、零件特征线及冲压工艺性等进行分析，对工艺可操作性及造型风格优化改进起着关键作用，减少新车的开发风险。

2）主断面优化。根据造型部门提供车身主断面，对零件形状进行简化，进行冲压成形性研究、冲压方向选择、零件公差分析、零件 R 分析，并对冲压工艺难度大的零件做出优化或修改，以免问题流转到下一开发流程，影响进度。

3）产品工程化。从产品品质、模具结构、操作性、生产线布置、成本等因素出发，对关键零件借助 CAE 进行冲压工艺分析，主要工作包括：判断可能产生变形不足的部位及其解决措施，冲击线、滑移线产生部位及其解决措施，起皱产生部位及其解决措施，开裂产生部位及其解决措施，预测可能产生的线偏移，回弹分析及其解决措施，刚性分析，强度分析，扣合性分析，R 分析（圆角处半径），冲压方向、工序数、加工压力、毛坯尺寸、生产线适应性分析等。通过对产品增加法兰边、翻边增加凹筋、筋取代翻边、去负角处理、孔改缺口、优化分块等方法来解决成形工序多的问题；通过对产品圆角优化、增加斜度、增加造

型、优化设计风格、改变产品结构等方法来消除成形起皱破裂现象；通过对产品增加防回弹筋、增加二级台阶、增加翻边、增加三角筋、降低翻边高度、提高产品饱满度等方法来抑制回弹。

6.6.6 回弹处理

引起回弹的主要原因：冲压成形（拉深、修边、翻边整形）后，由于弹性卸载、残余应力的释放，导致冲压件局部或整体发生变形。冲压件回弹的影响因素如下：

（1）材料性能　在工程机械的车身上有不同强度的冲压件，从普通板材到高强板，不同板材有着不同的屈服强度，板材的屈服强度越高，就越容易出现回弹现象。

（2）板材厚度　在成形过程中，板料厚度对弯曲性能有很大的影响，随着板材厚度的增加，回弹现象会逐渐减少，这是因为随着板料厚度增加，参与塑性变形材料增加，进而弹性回复变形也增加，因此回弹变小。

（3）零件形状　不同形状的零件回弹差异很大，形状复杂的零件一般都会增加整形工序，防止成形不到位并出现回弹现象。针对一部分特殊形状的零件，如U形零部件，比较容易出现回弹现象，在分析成形过程中必须考虑回弹补偿事宜。

（4）零件压边力　施加压边力在冲压成形过程中是一项重要的工艺措施，通过不断优化压边力，可以调整材料流动方向，改善材料内部应力分布。压边力增大可以使零件拉深更加充分，特别是零件侧壁与 R 角位置；如果成形充分，会使内外应力差减少，从而使回弹减小。

（5）拉深筋　拉深筋在当今工艺中应用较为广泛，合理地设置拉深的位置，能够有效地改变材料流动方向及有效分配压料面上的进料阻力，从而提高材料成形性，在容易出现回弹的零件上设置拉深筋，会使零件成形更充分，应力分布更均匀，从而回弹减小。

由于回弹是个复杂的三维问题，一直都是国际上板料成形模拟研究的热点。目前模具行业对回弹的校正率不是很高。解决回弹或减少回弹的主要方法如下：

（1）前期产品控制　工程机械产品材料厚、产品平缓、各区域变形不均匀等构成产品回弹大等原因。产品在设计前期就要采取有效可控措施。针对一些开口件、变形不均匀产品，在产品同步工程时就要有针对性地采取预防措施。通过增加筋、丰富造型、R 角处理等手段对潜在回弹区域进行处理。

（2）工艺造型控制　在拉深过程中，通过调整各种参数，使板料尽可能多地处于塑性状态。在板料弯曲的同时施加拉力来改变板料内部的应力状态和分布情况，使应力分布较为均匀，减少回弹量；通过优化调整工艺补充部分和压边圈型面，使各方向变形尽量一致，避免因横纵向变形不均衡而产生扭曲。

（3）回弹补偿　通过回弹模拟和现场经验总结得到回弹量，修改数模形状进行回弹补偿，使回弹后的冲压件在产品的公差范围内。造型回弹处理主要针对外板件和一些梁类底盘件，对于一些容易塌陷、反弹的产品，工艺造型时在公差范围内根据回弹方向进行反向求补偿。

（4）后期工艺处理

1）翻边过弯曲。如图6-13所示，对于外覆盖件的翻边压合弯曲线，翻边后压弯线内移，所以要进行过弯曲。

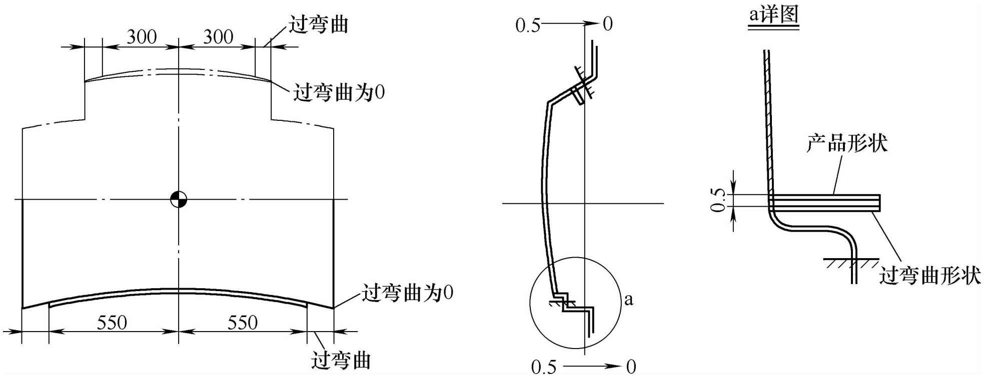


图 6-13　翻边过弯曲处理

2）整形抑制。对于一些回弹较大的产品，如图 6-14 所示，通过对拉深后的产品增加整形工序来对产品设计中的缺陷进行弥补；对于一些材料厚、拉伸强度大的产品，必要时可在整形工序里增加校正一些抑制回弹的造型。而对于一些大 R 角，可在整形时将 R 角减小，加剧产品变形，从而在整形时有效控制回弹。

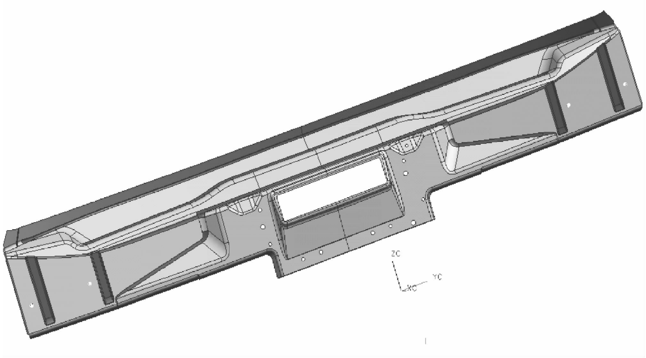


图 6-14　前围内板整形抑制图

3）压边板优化。凸模圆角 R 大时（$R \geqslant 10t$），或内板制件预计有回弹产生时，整形线取 R 角根部。压边板优化示意图如图 6-15 所示。同时，对于回弹较大的厚板料，压料中间可做空开，以加大厚板料翻边变形处的压料力，从而减少回弹。

4）凹陷控制。对于梁类拉深深度较大的零件侧壁，要充分考虑其回弹变形量，并采取如图 6-16 所示的对策。

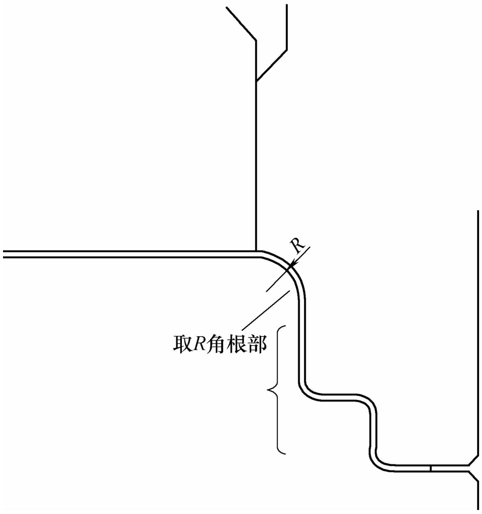


图 6-15　压边板优化示意图

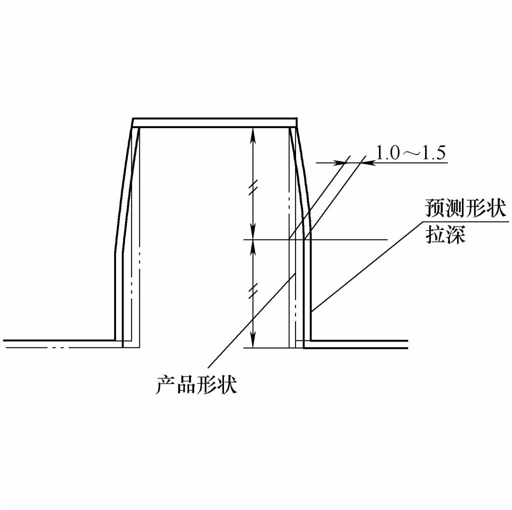


图 6-16　凹陷控制示意图

6.6.7　整体冲压成形技术

工程机械产品设计日趋复杂，像翼子板、角板、立柱等产品往往需要 4 ~6 道冲压工序。而且产品分块多、零件分散，像分体侧围总成等产品往往需要 3 ~6 个件组合拼焊，后期生产时出现零件多、模具工装多、操作人员多等现象为生产效率的提升带来了不利影响。整体冲压成形技术就是将以往通过焊接拼接在一起的多个冲压件采用整体冲压技术成形的加工方法。目前国内外汽车公司的产品采用整体侧围已经成为一种趋势。在工程机械产品中装载机、起重机、矿用车等产品已主要采用整体侧围，如图 6-17 和图 6-18 所示，模具整体冲压成形技术不仅可以减少零件和模具数量，降低成本，而且可以提升车身刚度，在碰撞时具有更高的安全性；此外，整体零件也有利于提高车身装配尺寸精度。如果工程机械几大总成都实现整体化，不仅大大减少了由工装拼焊造成的生产累计误差，产品一致性直接通过模具就可得到有效保证。各总成焊接、装配就变成了模块化操作。可很好解决工程机械生产成本高、质量差、效率低、产量少各方面的突出问题。

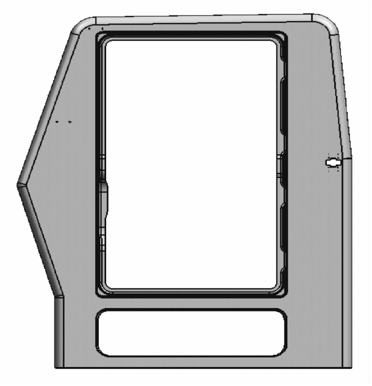


图 6-17　装载机整体侧围

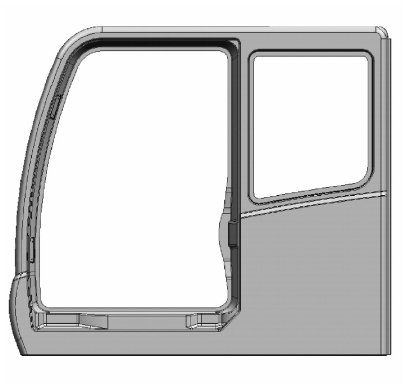


图 6-18　吊机整体侧围

整体侧围是工程机械产品上的大型拉深件。与乘用车相比，为满足工程需要，方便驾驶员人性化操作，整体侧围一般采用单门滑门、上下开启双门等特殊机构，侧面需要安装功能机构装置，顶部需安装安全防护装置；同时，工程机械模具中内压边圈在机床中是偏心的。这些特点构成了工程机械类产品成形困难、面质量不易控制、工序复杂等特点。图 6-19 所示为起重机上操室整体侧围。采用单门滑动机构，门内框设计有高低剧烈起伏的滑门支架安装凸台，车门密封线采用与整车协调一致的小 R 角，顶部设有防护栏安装凸台，前部装有检修装置。这类零件的外形特征是：表面质量要求高（光滑、美观）、刚性好、轮廓尺寸大、拉深深度深、外凸内凹、大台阶形底及有反向成形形状等。零件成形过程中，冲压成形就是毛坯变形区在力的作用下产生变形的过程。零件成形的质量取决于毛坯变形过程是否顺利。如果毛坯变形区受阻，冲压件就会产生破裂和起皱。在零件成形工艺设计时，由于侧围覆盖件由复杂的空间曲面组成，成形时毛坯上各部分的变形状态甚为复杂，差别很大，各处应力也很不均匀。零件的成形往往兼有拉深、翻边、胀形、弯曲等多种变形方式。因此，在进行覆盖件成形工艺制订和模具设计时，应特别注意协调好各部分材料的变形均匀性。既要考虑零件上最大变形区材料的变形量不超过材料的极限变形程度，避免材料被拉裂；又要考虑尽量保证变形量小的区域材料不发生弹性畸变，成形后零件有足够的刚度；同时还要防止

毛坯成形过程中可能出现的回弹、起皱、表面损伤等成形问题。经过反复改型，最后确定了此零件的冲压工艺方案设计。例如，在拉深工艺补充设计时，采用了轮廓过拉深设计，对成形工艺圆角的调整。产品设计时，侧围在与车门搭接的周边轮廓 R 角都要求很小，一般在 $R2\sim R3$mm，因此对较深的拉深件会造成破裂、缩颈。解决的途径是先把产品外轮廓 R 设计为 $R5$mm，且整个面往外移 3mm，然后再在整形工序中进行整形，将 R 整形为 $R2$mm。这样就能获得较高的成形质量。

6.6.8　少工序化技术的应用

在世界汽车产品变化多样的时代，模具多样化和模具更换周期短的特点变得尤为突出，汽车产品的多样性对冲压工艺技术提出了新的要求，促进了汽车冲压件生产加工工艺技术的变革。汽车冲压件具有良好的工艺性和经济性，衡量其水平的重要标志有冲压件的工序数、车身总成的分块数量和尺寸大小、冲压件的结构等因素。减少冲压过程的工序数意味着减少冲压件数、节省工装数量、简化冲压过程的传送装置、缩减操作人员和设备占地面积等，是节约投资及能耗的极佳措施。所以冲压件制造商都把少工序化设计作为降低汽车制造成本的重要途径，甚至不惜改进产品设计来满足制造工艺的要求。同时，还尽量采用大尺寸的合理的车身总成分块，如整块式车身左、右侧板及车顶盖板，既可使汽车外形更加美观实用，减少空气阻力，又可减少冲压件数量及焊点，有效地降低成本。

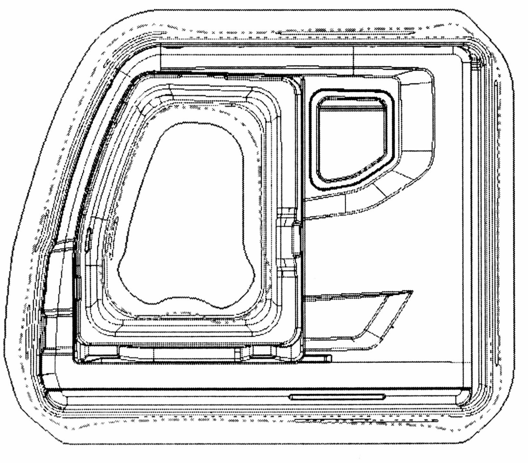


图 6-19　整体侧围拉深工序图

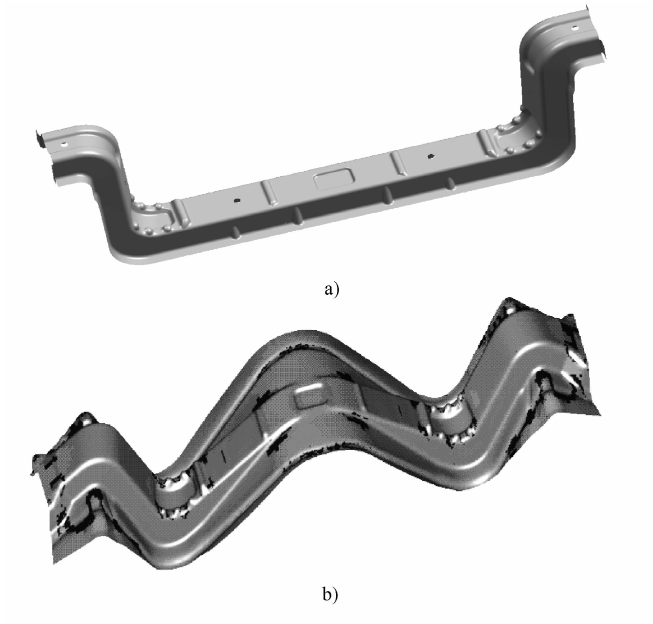
与汽车产品相比，工程机械产品存在着产量相对较小的特点，通过减少零件工序数量，可以降低成本，提高产品质量，缩短产品开发周期。

（1）四序以内成形　四序成形主要针对冲压线，一般一条冲压线由 4～5 台压力机组合构成。中间传送通过机械式取送件或人工取送件。对于一些批量相对较大的产品，通过娴熟有序的配合，冲压工艺控制在四序可实现高速流水线生产。图 6-19 为某工程机械地板的中横梁。因产品两侧呈垂直状态，按产品角度拉深，产品会产生严重叠料和破裂。传统工艺是将该产品一分为二，进行单独拉深。这样就造成产品多、工序多、质量差。改善现有成形工艺方法和手段，通过 CAE 模拟仿真分析，根据产品功能和性能要求，进行优化反求产品造型，破解产品成形难点，将部分复杂产品实现拟合为一。减少产品开发量和模具开发数量。

1）某产品中横梁产品与 CAE 分析简图如图 6-20 所示。

2）某产品工序简图如图 6-21 所示。

（2）一序成形　主要运用在一些批量较小的产品上。为节约模具开发成本，落料、修边、冲孔等工序采用激光切割或手工切割处理。运用一序成形需对产品的成形可行性和潜在质量问题借用 CAE 等手段进行反复验证，做出全面可靠分析后确定最终冲压工艺方案。



a)　b)

图 6-20　中横梁产品与 CAE 分析简图

a）中横梁产品图　b）中横梁 CAE 图

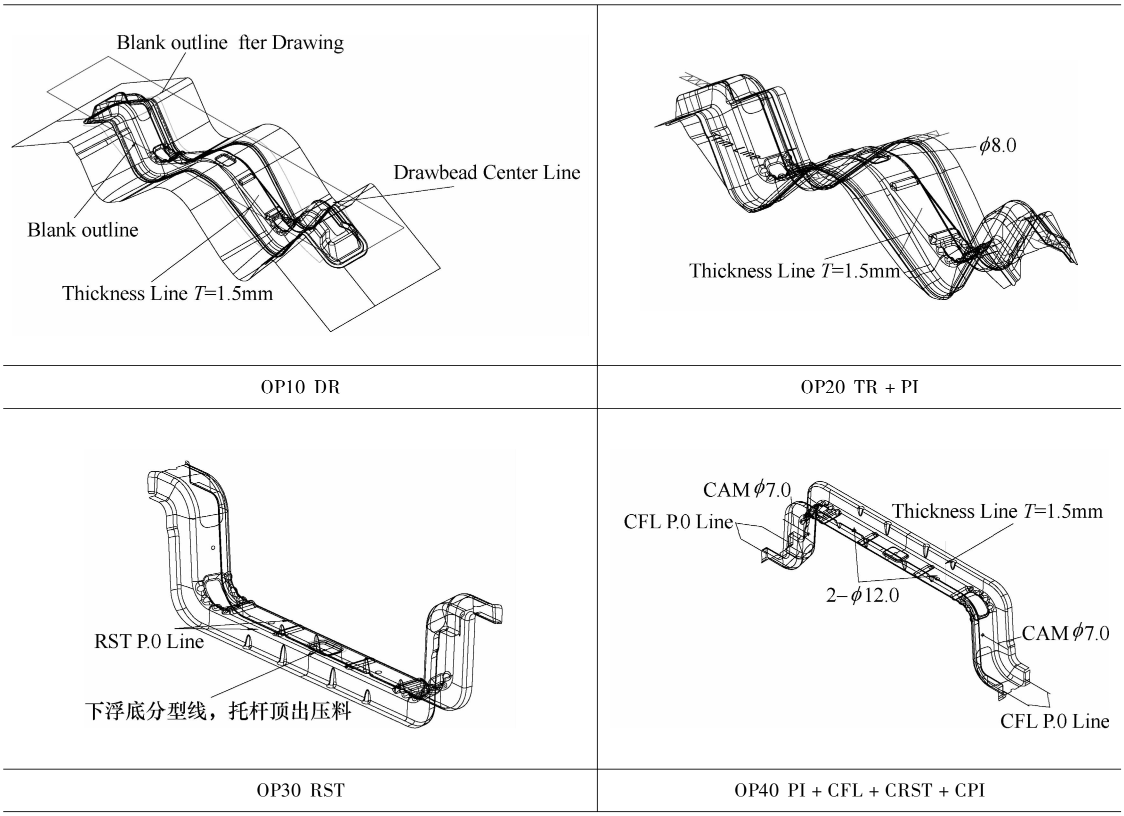


图 6-21　某产品工序简图

图 6-22 所示为某工程机械工具箱门内板，为降低生产成本采用拉深成形一体式工艺方案，采用一序成形。采用此类工序时，对于像此类要求较高的产品，在表面上不能存在起皱、破裂等质量问题。依靠传统经验，这类产品对于潜在和细微问题很难全面把握。通过分析，工具箱门内板在四个角落处存在严重起皱。借用 CAE 分析反复验证产品的可行性，通过对产品造型、冲压工艺各环节进行权衡后最终确定产品方案。

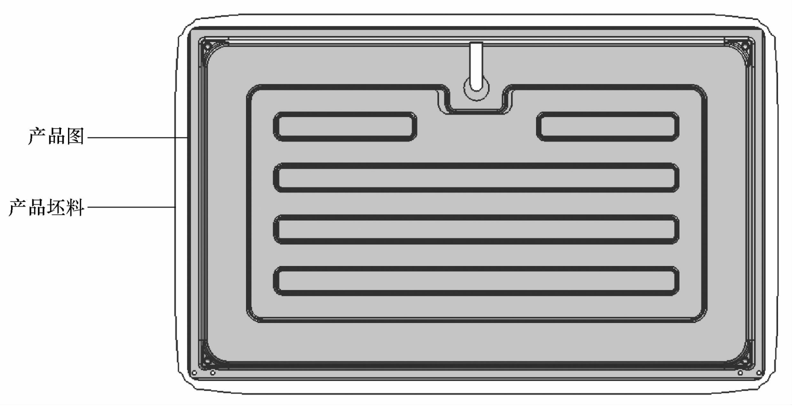


图 6-22　某工程机械工具箱门内板

6. 6. 9　提高材料利用率的常用方法

在工程机械白车身组成中，冲压件占 95% 以上，所以提高冲压件的钢材利用率对降低成本、提升经济效益具有十分明显的效果。对此，在规划阶段就应从产品设计、工艺方法、新技术新材料应用等方面着手，努力提高钢材利用率。在工程机械所有类型模具中，因压料和工艺补充需要，拉深类模具材料利用率一般较低，因此通过科学的方法提高工程机械拉深件材料的有效利用率是十分重要的降低成本、提升经济效益的措施。

由于各个国家的国情不同，钢材利用率的计算方法也不尽相同，本书所说的钢材利用率是指钢材利用在汽车本身的比例，不含其余部分（废料）利用在社会其他行业的比例。本书涉及的钢材利用率计算方法如下

$$\text{单件钢材利用率} = \frac{\text{零件的质量}}{\text{各零件的毛坯质量}} \times 100\%$$

$$\text{白车身钢材利用率} = \frac{\sum \text{各零件的质量}}{\sum \text{各零件的毛坯质量}} \times 100\%$$

经过多年针对模具交付生产的零件进行工艺改进，大约能将钢材利用率提升 1 ~3 个百分点，产品设计和冲压工艺规划决定着产品材料的有效利用率。合理的产品和工艺规划对于成本控制意义重大。

下面介绍在产品规划阶段提升钢材利用率的常用方法和手段。

（1）产品的合理设计

1）合理选择产品造型和优化产品结构。在产品设计阶段，不同的造型结构对钢材利用率影响比较大，工程机械产品带窗框结构和异形件钢材利用率最低，不带窗框并且产品外形呈现方形轮廓的结构钢材利用率最高。所以在新车型零件设计的过程中，在不影响零件功能的情况下，应优先选择钢材利用率高的结构。

2）材料牌号的合理选用。材料牌号和厚度的组合可能会高达60～80种，如何减少材料牌号，对提升钢材利用率、降低采购成本意义重大。在规划阶段，对于材料牌号的定义可遵循如下原则：

① 对性能近似的材料牌号进行合并。

② 建立选材库，明确各种材料牌号和厚度，新车型在选材时不允许选择库外牌号和厚度。

③ 高（超高）强度材料作为今后的发展趋势，定期添加进选材库。

④ 在材料牌号定义时就考虑废料的利用。

对于小件选用材料，在满足产品要求时，可以考虑利用大件的“废料”。通常在这个阶段就需要产品设计师与模具工艺设计师通力合作。运用CAE分析验证，同一中车型小件选用在满足功能和结构强度的前提下，选用本车型侧围、车门等相近的材料牌号、厚度，就可以有效利用侧围、车门等产品的边角废料来制造，从而可有效提升钢材利用率。

3）产品的合理分块。对于工程机械中不规则的异形件，分块直接决定着材料利用率。对于直线折弯件，折弯处尽量减少，兼顾分块后各件产品材料利用最大化。同时还要综合考虑落料排样或下料尺寸等综合因素。合理的分块不仅提升了钢材利用率，还节省了模具、检具、夹具的数量，提高了焊接精度。

4）塑料件的应用。对于车身上部分结构复杂、工艺性差，并且受力较小、钢材利用率较低的零件，可以考虑采用塑料件。现在工程机械上的翼子板、保险杠、角板等产品就改用了塑料件，它一方面提升了整车的钢材利用率；同时，采用塑料件也可增加设计的自由度，确保了造型的效果。

（2）工艺方法的合理选择

1）提升钢材利用率需要在设计阶段控制各个方面，对于工艺补充、拉深筋、压料面等进行最小化设计，保证产品质量的同时使钢材用量最少。同时，对于外表面件，在考虑制件质量和充分拉深的前提下，可以考虑采用浅拉深，尽量减少工艺补充部分，直接以制件的法兰面作为压料面，使钢材利用率达到最大，但需要注意板料滑移线对制件质量的影响。

2）双件合并。随着工程机械车身整体侧围冲压技术的推广以及压力机台面的增大。随着1600t以上的大型冲床应用，冲压工艺也得到了快速发展，立柱、翼子板等冲压件从过去的一模单件发展为双槽模生产，压力机的富余动力得到了有效的利用，生产效率也成倍提高，最新已发展到车门内、外板采用四型槽冲模生产，生产效率又翻了一番。

左、右零件成双，这在双件合并情况中较为常见，车身上绝大多数零件为对称件，在工艺设计时多考虑左、右件成双设计，在减少工艺补充、提升钢材利用率的同时，成形难度也会降低。双件生产的最新发展趋势是内、外板同时生产，其优点是生产数量匹配，还可同时送焊装线及时压合，物流顺畅、便捷。

另外，还有一种“一模多件”的加工方式，即一套模具一次能生产多个同样的零件，这种方式与左、右零件成双效果相同，都能通过减少工艺补充达到提高钢材利用率的目的。产量较大时，采用多件同时冲压，可使模具费、材料费和加工费都得到降低，对成形工艺来说，也有利于材料应力、应变对称均匀，还提高了生产效率，降低了能源消耗。

3）成形工艺的合理利用。对于车身上的梁类件、结构件等，在表面要求不高、成形深度较浅、不影响焊接搭接的前提下，可以多采用成形工艺。由于拉深需要完整的工艺补充部

分，但成形可以采用不封闭压料的方式，所以可以减小原材料的毛坯尺寸，同时还可以通过优化落料排样的方式提高钢材利用率。通过增加落料工序将拉深工序改为成形工序，钢材利用率可得到大大提高。

4）模中模技术的应用。在工程机械覆盖件中，如门内、外板的上段区域，窗框位置有大片的废料；后围外板的后挡风玻璃处也存在大量的废料；整体的侧围内、外板在门洞处或玻璃窗处也有大量的废料。目前的利用方式是收集起来再利用在其他零件上，而模具设计时在工艺部分是通过套件拉深来有效利用废料的，这样可有效提高材料利用率。同时还可以减少模具数量，这就是“模中模技术”。如图 6-23 所示，目前在工程机械中可以采用如下两种形式：

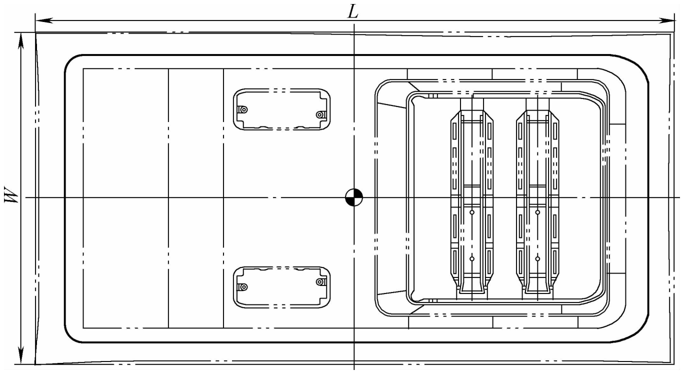


图 6-23　“模中模”技术应用

① 对于较平缓的产品，将工艺补充废料部分设计成平面。对于与拉深件数量相等或一辆车产品件相匹配的，可在后续修边工序中直接剪切出成件展开料片。对于与拉深件数量不匹配的或废料用于小型产品件落料的，可按拉深废料应用最大原则或小型产品件排样外轮廓剪切出废料，后期再利用。

② 对于产品型面有一定起伏变化的，在模具设计时就在洞口的位置布置其他的小件，通过拉深后直接通过后续工序加工出合格的产品。采用“模中模技术”布置的小件要求是同一型号，数量布置上也必须与拉深件在整车的使用数量相匹配。

（3）新材料、新技术的应用

1）激光拼焊技术的应用。以某工程机械车门内板为例，传统工艺是将整体门内板（st14 板，$t=1.2$mm）加铰链加强板（B170P1 板，$t=2.0$mm）焊接；采用拼焊工艺，则用 st14 板、$t=1.2$mm 和 B170P1 板、$t=1.8$mm 的材料先进行激光拼焊，然后整体成形。通过对比，采用激光拼焊工艺可大大减少钢材消耗，模具数量也大大减少，车身重量更轻，装配后强度较传统工艺更好。

2）开卷落料线的应用。在规划阶段就要考虑开卷落料线这样的新工艺，通过投资开卷落料线，不仅可以降低人工落料的工作量，还可以提升大侧围等落料片的表面质量，避免划伤。开卷落料线最大的成本优势还在于可以大大提升部分件的钢材利用率。

对于部分件，通过套裁排样的方式（即少无废料排样），开发开卷落料模同样可以提升钢材利用率。

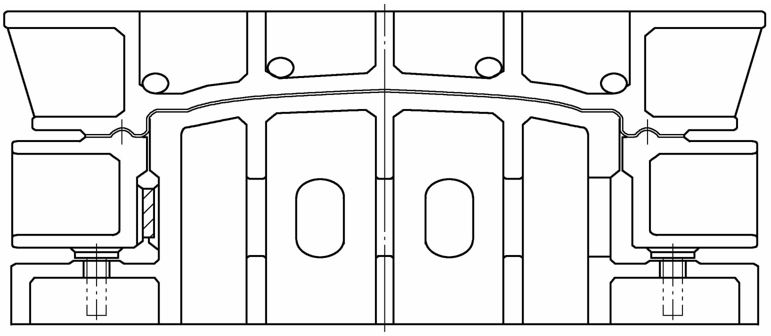
3）高速生产线的应用。目前大工作台面、大吨位的压力机应用越来越多，压力机的自动化程度也达到较高的水平，条件允许的情况下可以规划高速生产线。由于高速生产线一般都是大工作台面的设备，机械化程度很高，可以实现一模两件或者一模四件的生产，同时也避免了由于设备工作台面较小造成不必要的制件分块，所以高速生产线的规划，也是提升钢材利用率的有力保证。

综上所述，冲压件钢材利用率水平的提升和产品、工艺、设备等密不可分，一个车型钢

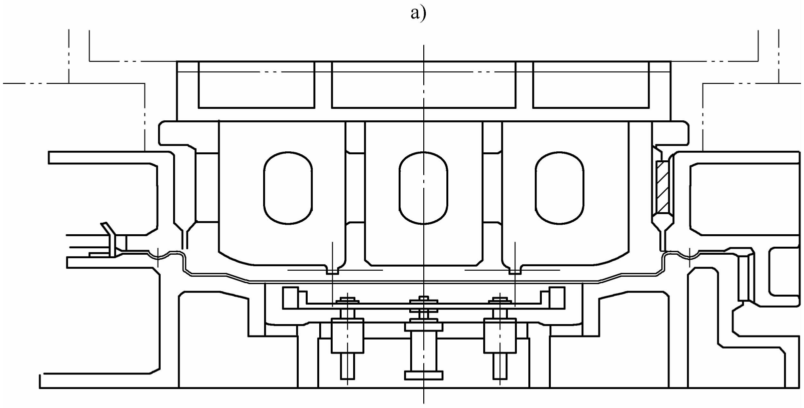
材利用率的高低，代表着企业工艺水平的高低，同时也是一个企业成本高低的标尺。由于规划阶段对产品设计和批量生产起到承上启下的作用，所以在新车型规划阶段需要产品设计和工艺制订的密切配合，从造型评审、产品分块上就应开始仔细研讨。同样，在工艺设计过程中，也需要每毫米必究，最大限度地提高钢材利用率，尽量避免批量生产后再进行工艺改进。随着产品设计能力、模具设计制造能力、制造工艺及制造设备的不断提升和发展，钢材利用率的提升仍然有较大的空间，在不断巩固上述方法的同时，应不断地对新技术、新方法进行研究，最终应用于生产中，为企业、社会创造效益。

6.6.10　拉深件模具常用结构

1）按拉深模的结构形式，一般分为单动拉深模和双动拉深模。在工程机械中较常采用单动拉深模（见图 6-24a）。双动拉深模（见图 6-24b）一般用于拉深较浅、相对较简单的产品。



a)



b)

图 6-24　单动拉深模和双动拉深模

a）单动拉深模　b）双动拉深模

2）按拉深模的导向形式，一般分为内导向和外导向。内导向结构模具一般较小，比较容易保证同凸模的配合精度。拉深模一般采用内导向，即压边圈内与凸模导向，外与凹模导向。特点是结构紧凑，模具尺寸小，造价低，是一种常用的结构。在工程机械模具开发中较常采用。适合于工程机械产品侧围、顶盖、车门等相对较规则的产品。由于内导向结构凸模需要紧固的螺栓、平行销较多，因此，当压料圈上加有侧向力时较为不利，在加工时较

困难。

对于细长柱类件和周边为不规则曲线类件，分型线形状复杂，压边圈易出现局部悬空，导板位置较紧凑，在一定程度上削弱了凸模强度，模具可以采用外导向结构。即凸模和凹模都与压边圈的外部导向；或者采用箱式结构，即凸模与压边圈外部导向，凸模与凹模直接导向，提高了导向的精度。但采用箱式结构增大了模具尺寸，使制造成本升高。在工程机械产品开发中较适合应用于立柱、纵梁等产品或双槽类模具。

6.6.11　拉深镶块

（1）拉深模镶块（拼块）设计　拉深模凹模镶块（拼块）、压边圈镶块（拼块）的接合面后部原则上不设计让空面。压边圈与凹模在拉深面区域较小时，在拉深面区域的外轮廓加 5mm 处设计镶块（拼块）接合面后部的 1 ~ 2mm 让空面，紧固螺钉的螺纹孔、内螺纹圆柱销钉螺纹孔要设计在拉深面区域的外轮廓加 5mm 处，并靠近镶块（拼块）的接合面作阶梯形均匀布置（三角形或梯形）。此时凹模镶块的销钉要设计防脱结构。压边圈与凹模镶块（拼块）上设计有螺纹孔及圆柱销孔，反装时，应注意其深度不能贯通到型面，影响板件的表面质量。如图 6-25 所示，镶块的厚度同时要考虑螺纹孔和销钉孔深度。拉深模凹模与压边圈镶块（拼块）的接合面的接缝不要重合，最小要错开 10mm。

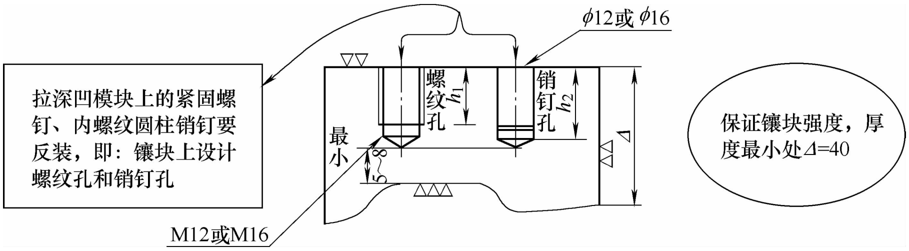


图 6-25　凹模镶块

（2）压边圈设计　压边圈镶块（拼块）接合面的接缝必须沿分型线（或型面的棱线）形状的法线（或法向）方向倾斜 5°，如图 6-26 所示。压边圈设计时要注意镶块的分割位置，镶块分割线避开导滑面位置就可以避免镶块的悬空，镶块下面要有托壁。

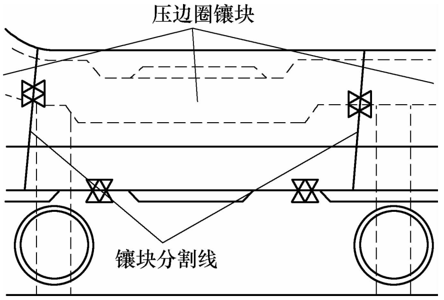


图 6-26　压边圈镶块方式

这样设计的优点如下：

1）板料流动方向和镶块接缝方向不一致，镶块不易磨损，对板件无影响。

2）各个镶块形成一个整体，相互抵消侧向力。

3）镶块下不用加键。

（3）拉深凹模镶块特殊分块

1）料厚 $t \leqslant 1.5$mm，屈服强度小于 340MPa 时，按图 6-27a 所示进行结构设计。图中件 1 和件 2 材质为 Cr12MoV 或 SKD11，件 3 为 Mo-Cr 铸铁。

2）料厚 $t \geqslant 1.5$mm，屈服强度大于等于 340MPa 时，按图 6-27b 所示进行结构设计。图中件 1、件 2 和件 3 材质为 Cr12MoV 或 SKD11，件 4 为 HT300 铸铁。

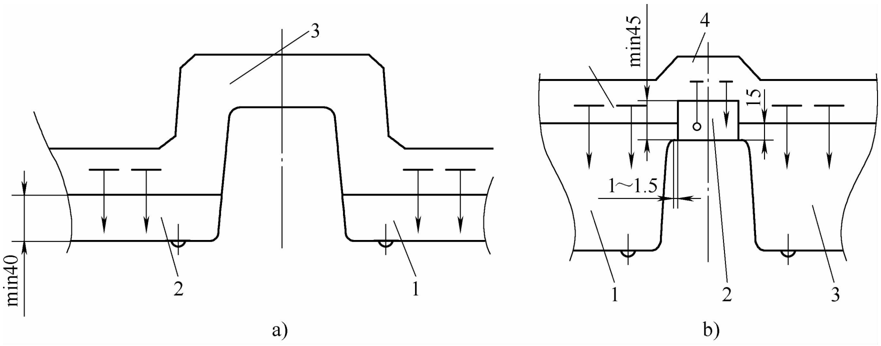


图 6-27　凹模镶块分块图

a）料厚 $t \leq 1.5$mm　b）料厚 $t \geq 1.5$mm

6.6.12　自动化装置

1. 单动拉深模自动化装置

（1）自动放料方式（见图 6-28）

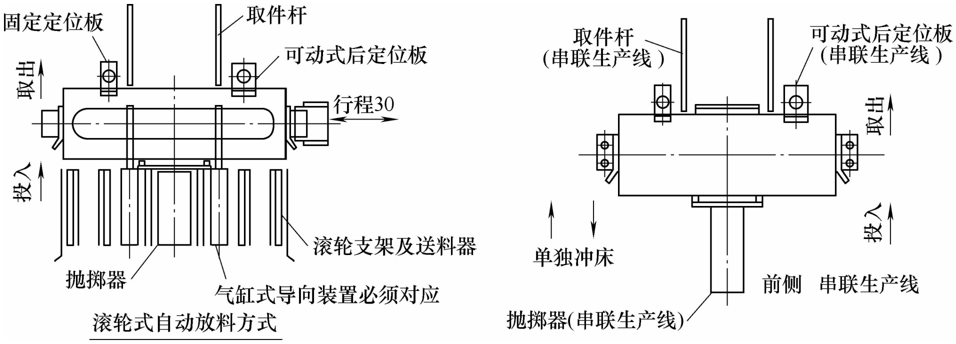


图 6-28　自动放料方式

1）滚轮式自动放料的情况下，使用侧冲式侧定位板来减少放料间隙（根据情况可采用气缸式）。

2）上料滚轮支架的角度的确定，应保证不与压边圈配合面相碰，并且保证板料从滚轮上脱离后，自动下落在压边圈上，不与压边圈边缘相碰。

（2）毛坯引导定位设置（见图 6-29）

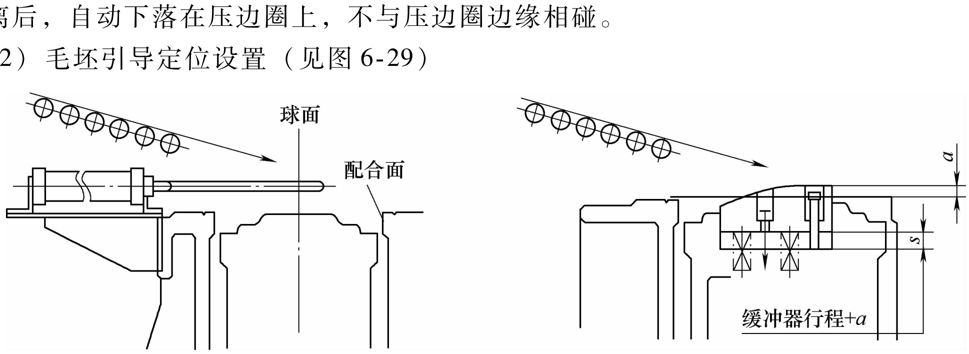


图 6-29　毛坯引导定位设置

1）与气缸螺纹部分联接的顶杆前端加工成球面，以便对落在其上的毛坯进行导向。

2）不适用于外板模具，可采用在凸模中设置导向 。

（3）侧冲式侧冲定位板　采用滚轮式自动下落方式放料时，侧定位板单面可动，以减小放料时的间隙，如图 6-30 所示，可动式侧冲部件设在送料方向的右侧。

（4）抛掷器　如图 6-31 所示，抛掷器是采用以橡皮调节器或脲烷减振器敲击、推动制品侧面的方式进行工作的，抛掷器行程是抛掷器头部超过制品侧面的距离，从制品端头到侧面的长度 a 不计，抛掷器行程取尺寸 L 的 1/2～2/3。

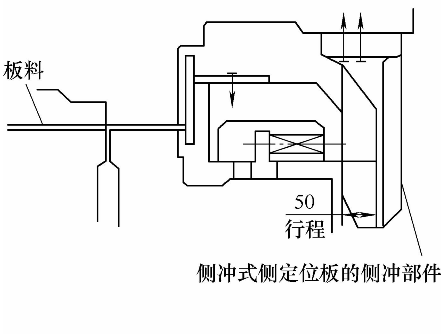


图 6-30　单动用侧冲定位板

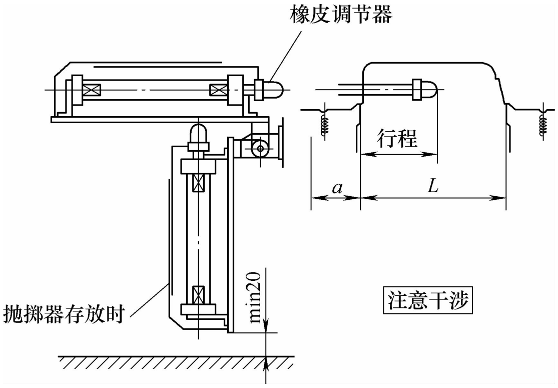


图 6-31　抛掷器

2. 双动拉深模自动化装置

（1）自动放料结构示意图（见图 6-32）

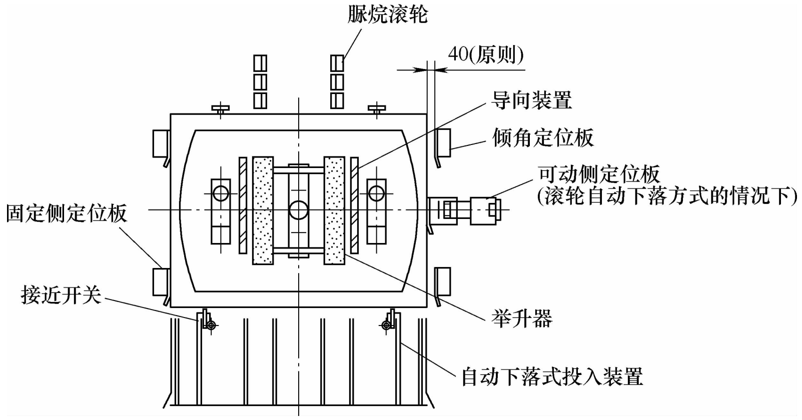


图 6-32　自动放料结构示意图

（2）毛坯导向装置　如图 6-33a 所示为直接举升式导向装置；图 6-33b 所示为杠杆举升

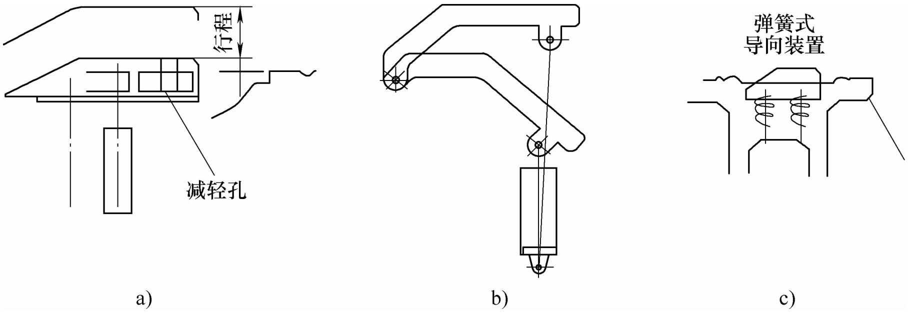


图 6-33　毛坯导向装置

a）直接举升式　b）杠杆举升式　c）弹簧式

式导向装置；使用图 6-33c 所示类型的内板件时，可考虑使用弹簧式导向装置。以上三种毛坯导向装置，应根据零件来选择使用何种方式。

（3）侧冲式侧定位板

1）双动拉深模使用的侧定位板与单动拉深模相同。主要用于滚轮自动下落的结构，以无间隙放料为目的。

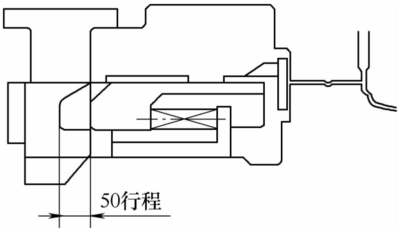


图 6-34　双动用侧冲定位板

2）如图 6-34 所示为大件侧冲定位板的调整，中型件也可以使用单动拉深模所用的侧定位部件。

3）同一侧冲部件也可用于预弯。

4）自动放料、取料装置如图 6-35 所示。

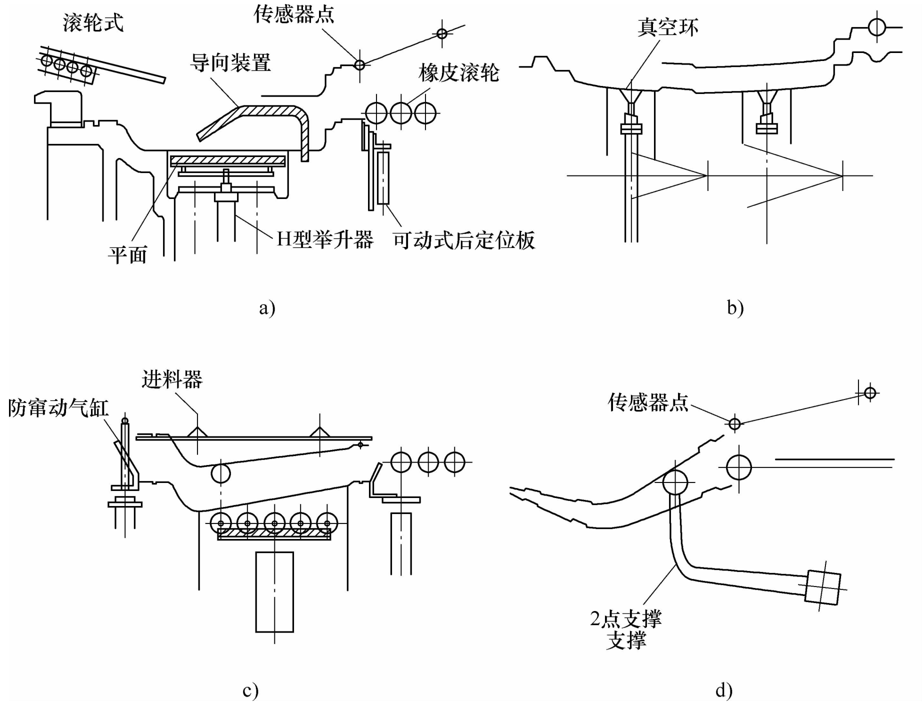


图 6-35　自动放料、取料装置

a）滚轮放料，举升器抬起，振动杆取料　b）直角杠杆举升器取料　c）进料器放料，举升器抬起，取件机械手　d）直角杠杆，举升器举升，振动杆取料

6.6.13　刺破、冲孔、切角结构处理

覆盖件在拉伸过程中，拉伸较深的或有窗口反拉伸成形的零件易拉裂，可用增加工艺切口、内侧切口、外侧切角的方法来解决。增加的内侧切口、工艺切口、外侧切角应保证不因材料流动过快，拉应力过小而形成波纹或起皱，故工艺切口、内侧切口、外侧切角必须放在拉伸应力大的拐角处，工艺切口、内侧切口、外侧切角的位置、大小、数量和形状需要使用 CAE 软件反复试验确定。

（1）内侧切口（刺破刀）

1）使用目的：在难以成形的位置加切口，以使材料易于流动。

2）注意事项：在内侧进行切口（冲孔）时，应在考虑冲压件成形性的前提下切入。

3）刺破刀结构。刺破刀的基本结构有两种，如果 6-36 所示，特殊形状刃口由 CAE 给出。当刺破刀形状复杂而有可能卡料时，应在刺破刀旁边设计弹顶销。

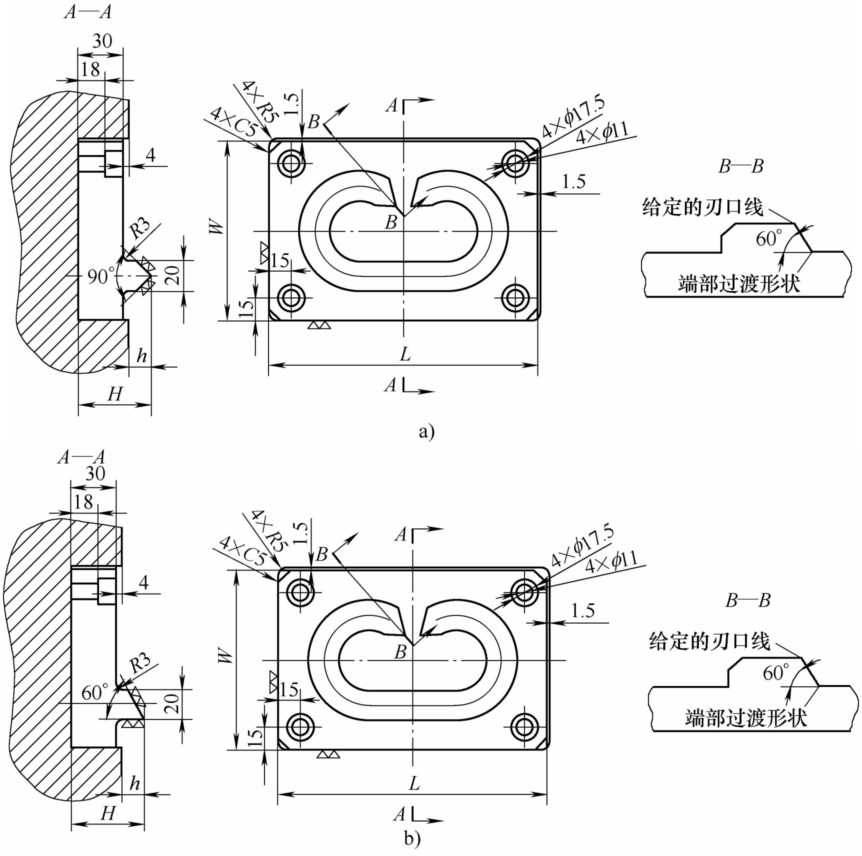


图 6-36　刺破刀的结构和形状

a）方案一　b）方案二

4）刺破刀技术要求：

① 未注倒角为 $C1.5 \sim C2.0$；未注圆角半径为 $R1 \sim R1.5$。

② 其余部位的表面粗糙度值为 $Ra6.3\mu m$。

③ H、h 的尺寸根据 CAE 结果和实际调试结果确定。

④ 刃口表面热处理 55HRC 以上。

5）凹模本体刺破刀避让槽结构（见图 6-37）。

（2）拉深工艺切口

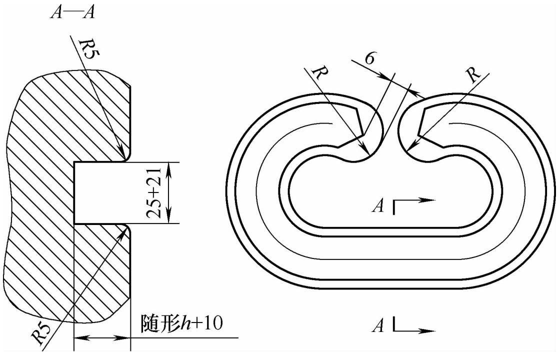


图 6-37　凹模本体刺破刀避让槽结构

技术要求：

1. 未注圆角半径为 $R3$。

2. 其余部位的表面粗糙度值 Ra 为 $6.3\mu m$。

1）使用目的：板料拉伸超过极限，会发生断裂，因此设置切口或冲孔使板料易于流动。

2）设计注意事项：

① 考虑板料成形性。

② 为能调整切入量，上型镶块安装垫片，垫片厚取 5mm，如图 6-38 所示。

③ 切口时，为防止带料，应安装弹顶销。

④ 板料取出时注意与刃口之间的干涉。

⑤ 尽量在落料模中切口，避免在拉伸模中切口，因为外板件切口后的切屑会形成表面斑点。

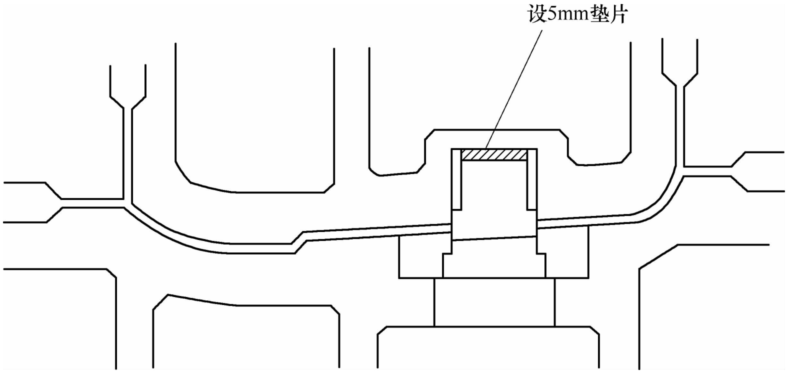


图 6-38　拉深工艺切口结构图

（3）外侧切角

1）使用目的：在金属板料成形过程中，初始毛坯对于钣金件的成形质量有着很大的影响，合理的毛坯设计不仅可以节约材料，更重要的是可以改善成形过程的应力应变分布，增强板料的成形性，从而明显地减少起皱、拉裂等现象的发生。方料拉深时在拐角或异形区域，留有大面积压料，会存在进料困难的现象，容易导致破裂。在此区域增加切角，便于材料流动。

2）设计注意事项：

① 外侧进行切角时，应注意废料飞溅、滑出是否顺畅。

② 导向形式采用导腿 + 导柱的形式。

6.6.14　模具结构消皱处理

（1）凹模压料结构　主要用于外表面成大平面状或弧度很小的产品，这类产品在拉深过程中，大平面区域很难拉深变形。而拐角区域急剧变化，*R* 角很小，毛坯上的材料进入凹模后成为冲压件的侧壁，其主要作用是向变形区传递变形力。拉深过程中内部的毛坯在拐角区域不能同时贴模，而是随着冲压过程的进行而逐步贴模。这种逐步贴模过程，使毛坯保持塑性变形所需的成形力不断变化，毛坯各部位板面内的主应力方向与大小、板平面内两主应力之比等受力情况不断变化，因此成形过程在大平面区域容易形成鼓包，到位后容易在外表面形成褶皱等产品缺陷。通过将这些存在潜在质量问题的区域进行合理分块，在拉深时作为凹模压料。拉深后凹模压料板与凸模压料，将可能存在鼓包的区域压紧。减少产生拉深缺陷的可能性。常用于工程机械侧围、立柱等产品。

（2）强压结构　主要用于产品剧烈变化区域、装配件安装面或焊接搭接面调整。综合产品成形特点在拉深模结构设计时作负间隙处理。消除产品可能产生的潜在缺陷。

① 对于地板等形状比较复杂，凸、凹剧烈变化的零件，要确保冲压压力不足时的形状深度。对于需要重点保证的型面，可在关键区域做强压处理。地板强压处理如图 6-39a 所示。

② 对于两产品搭接的配合面部分，需要强压来确保其深度。搭接件强压处理如图 6-39b 所示。

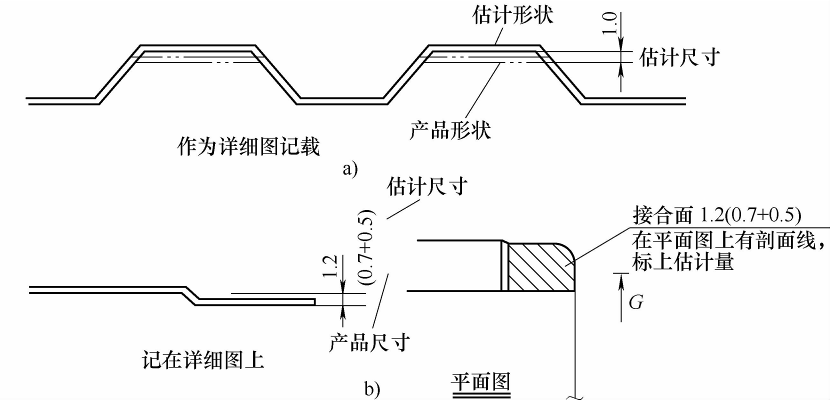


图 6-39　地板、搭接件强压处理
a）地板　b）搭接件

③ 对于装配件安装面或焊接搭接面应在后续工艺作强压处理。功能部位强压量为 0. 05 ~ 0. 3mm，符型区大小：修边 25 ~ 30mm，翻边 50 ~ 80mm，整形 80 ~ 100mm。压料板强压处理如图 6-40 所示。

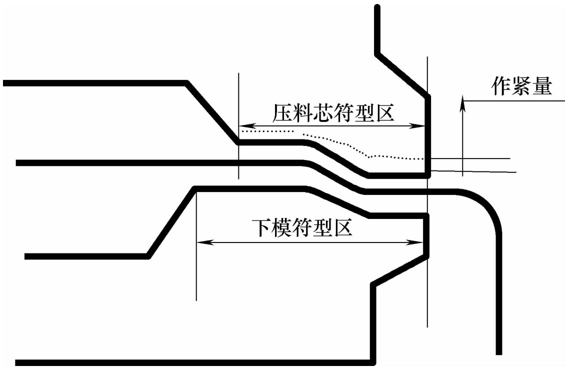


图 6-40　压料板强压处理

6. 6. 15　模具退料

（1）上模卡料　工程机械产品很多陡峭类和梁类件拉深模。这类产品侧壁很多是垂直或近似垂直的，拉深后产品很容易出现卡料现象。在模具凹模内必须设计退料结构。在有刺破刀的拉深模中，上模需要设计弹顶销。

（2）上模吸料　对于顶盖、地板等幅面较大的覆盖件，上模有可能吸料。上模需要设计弹顶销。

设计弹顶销时应遵循的原则如下：

1）设计在凹模的凹部位且在废料区域。

2）废料区无法满足设计要求时，要设计在产品上时首先考虑是非外观面。

3）顶料必须设计在外观面时，选择比较平坦的面。

6. 6. 16　组合模具

（1）共用冲压线模具　注意事项如下：

1）冲压线共用时，根据行程的最小值（各模具最小闭合高度的最大值）和最大值（各

模具最大闭合高度的最小值）来确定闭合高度允许范围。

2）根据送料水平线、压边圈强度（压边圈高度最小为250mm）等来确定下模高度送料水平线，按压边圈升起的状态来确定。

（2）一机双模或多模　一机双模或多模考虑制件工序的工艺要求及机床情况，可以在同一机床上同时安装两套模具或多套模具，一次性生产多个工序的制件，提高工作效率。

注意事项如下：

1）冲压角度要保持一致，冲压过程中角度不能调整。

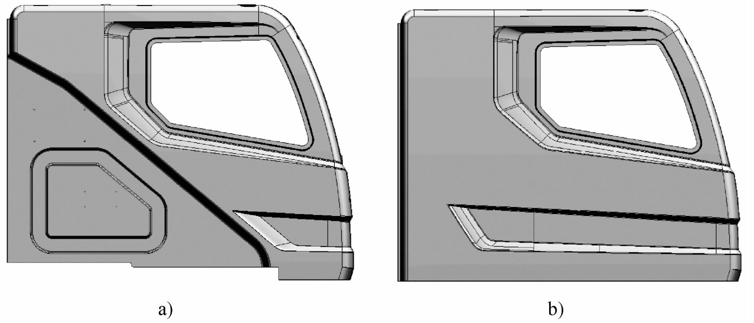
2）自动冲压多副模具组合结构将多副冲压模具固定在一台大吨位的压力机上。机床吨位要满足加工要求。

3）在多副冲压模具之间设置搬运零件的机械手，各副冲压模具的冲压面高度一致，每冲压完一次，机械手就从前一副模具中抓取零件放到后一副模具中，实现自动冲压和搬运传递，在传递过程中要顺畅无干涉。

一机双模或多模综合了单工序模和级进模的特点，只采用一台压力机使结构简洁、冲压控制更为简单、生产时占用空间小，利用机械手传递系统节省人力，实现产品的模内快速传递，可以大大提高产品的生产效率，减低产品的生产成本，节省材料成本，并且质量稳定可靠。

6.6.17　模具通用化

工程机械模具批量小、系列化多，因此拉深模、修边模、翻边模等工序要综合考虑多车型的通用性，减少模具开发的投入。加宽型和标准型整体侧围如图6-41所示。



a)　　b)

图6-41　整体侧围

a）加宽型　b）标准型

6.6.18　多件共模

有些工程机械产品较奇特、怪异，单个产品拉深时力量不平衡。同时，有的产品单个拉深过于修长，模具长宽比不协调。如图6-42所示为立柱与后窗侧围上梁拼件工艺图。这时，多件共模可解决力量不平衡、模具强度不足等问题，还可使机床有效利用多余能量，提高生产效率。

6.6.19　拉深件冲压调试常用解决措施

1. 起皱与叠料

（1）产生原因　由于板料的厚度方向的尺寸和平面方向上的尺寸相差较大，造成厚度

方向不稳定，当平面方向的应力达到一定程度时，厚度方向失稳，产生挤压而无法吸收消除，从而产生起皱现象。

1）材料堆集起皱。进入凹模腔内材料过多。

2）失稳起皱。包括如下两点：

① 板料厚度方向约束力弱的压缩凸缘失稳。

② 在不均匀的拉伸部位失稳而产生的皱纹。

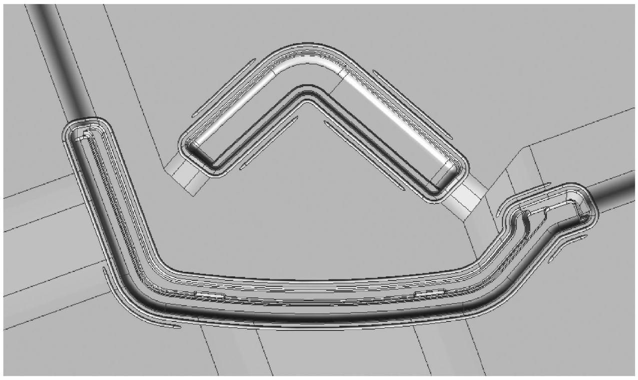


图 6-42　立柱与后窗侧围上梁拼件工艺图

（2）解决办法

1）加拉深筋或拉深槛，增加走料阻力，减少料流供应。

2）加强压即减小型面间隙。

3）加辅筋或凸包造型吸料。

4）增大压边力。

5）改变拉深筋形状。

6）增大料边尺寸。

2. 开裂与缩颈（暗伤）

（1）产生原因　主要是由于材料在拉伸过程中，应变超过其极限而形成失稳。

1）材料抗拉强度不足而产生的破裂，如靠近凸、凹模圆角处，局部受力过大而破裂。

2）材料变形量不足而破裂，在胀形变形时，靠近凸模顶部产生的破裂，或凸缘伸长变形流入引起的破裂。

3）时效裂纹：即严重成形硬化部分，经应变时效脆化又加重，并且成形时的残余应力作用引起的制件破裂。

4）材料受拉伸弯曲既而又弯曲折回以致产生破裂，多产生于凸筋或凹模口处。

5）条纹状裂纹。由于材料内有杂质引起的裂纹，一般平行于板料扎制方向。

（2）解决办法

1）调低或去除拉深筋或拉深槛，减少料流阻力，减少料流供应。

2）改善型面光滑程度。

3）加刺破刀或切角刀，增加局部料流供应。

4）适当减小压边力。

5）改变拉深筋形状。

6）减小料边尺寸。

同时，可根据现场实际情况，采用涂拉深油、垫塑料薄膜、电剪刀裁断料等方法处理。

3. 滑移线（双棱线）

（1）产生原因　凸 R 角两侧料流不平衡，凸 R 角成形后，向某一单侧流动，导致在产品上产生明显的带状滑移痕迹。

（2）解决办法

1）增减拉深筋或拉深槛，调整料流动阻力，平衡料流。

2）增加凸台（高度高于滑移线处 R 角）、台阶。

3）适当增加压边力。

4）增加料片尺寸。

5）过拉深设计。

4. 冲击线

（1）产生原因　板料由压紧状态的静摩擦到开始流动的动摩擦，在凹模圆角处材料拉伸变薄并伴随加工硬化，产生冲击线。随着拉伸的进行，最终留在侧面或产品上。

（2）解决办法

1）如图 6-43a 所示，对于一次冲击线，$a \geqslant b$ 的时候，产品上就不会有冲击线。

2）将凹模圆角加大到料厚的 20～40 倍，这样冲击线会减轻。

3）如图 6-43b 所示，采取做二级台阶的方法，以“变相”延长 a，使一次冲击线不留到产品上，并使 $c \geqslant d$，产品上不会有二次冲击线。

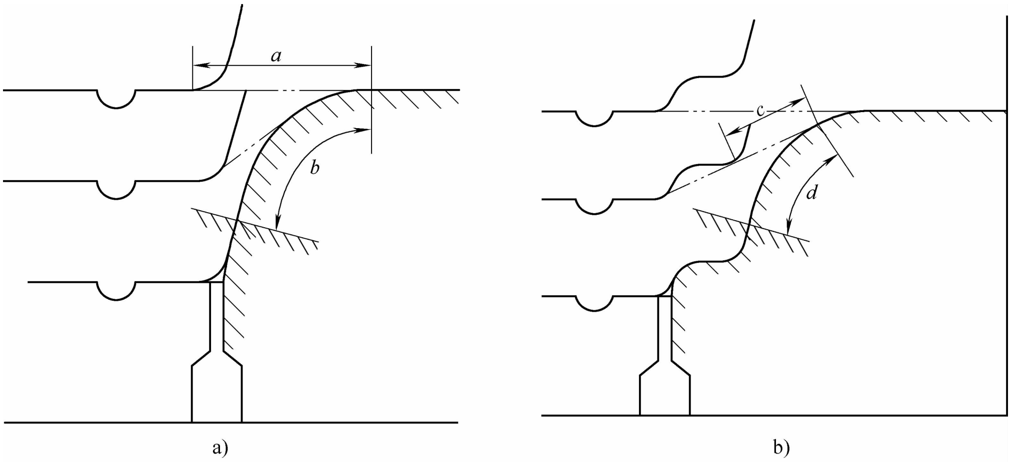


图 6-43　冲击线处理示意图

a）方案一　b）方案二

5. 拉毛

（1）产生原因

1）拉毛处间隙小（局部产生高温）。

2）模膛或镶块硬度低。

3）模膛有灰尘颗粒。

4）模膛或镶块粗糙。

（2）解决办法

1）提高模膛及镶块工作型面光洁度。

2）将模膛及镶块工作型面进行淬火处理。

3）将凸 R 角修光滑。

同时，可根据现场实际情况，采用涂拉深油、垫塑料薄膜或用抛光轮进行在线抛光处理。

6. 压伤

（1）产生原因　料厚间隙不均或有脏物致板件局部受压，在板件上留下印痕

（2）解决办法

1）清洁模膛。

2）带件进行型面研合，实际验证。

3）降低模膛及镶块工作型面表面粗糙度。

6.7 修边工序制造技术

6.7.1 工程机械修边件特点

工程机械修边工序与乘用车、商用车相比，主要存在成形力大、工序多、工序交叉复杂等特点。修边模就是特殊的冲裁模，与一般冲孔、落料模的主要区别是所要修边的冲压件形状复杂，模具分离刃口所在的位置可能是任意的空间曲面。冲压件通常存在不同程度的弹性变形，分离过程通常存在较大的侧向冲裁力等。因此，进行模具设计时，在工艺上和模具结构上应重点考虑冲压方向、制件定位、模具导正、废料的排除、工件的取出问题。还要针对工程机械特点对修边展开、二次接刀、侧向力的平衡、修边冲孔角度、刃口强度、材料、安全防护等进行综合分析。

6.7.2 修边尺寸展开的计算方法

工程机械覆盖件修边线的展开是一个很复杂的问题，手工展开工作量大，而且精度低，因此在线生产中精确的修边线一般是用样板在后面工序模具上经过实验而获得的，而这大大增加了覆盖件模具的制造周期，成为目前覆盖件模具制造的一大瓶颈。因此，利用CAE 技术获得精确或较为精确的修边线将成为未来发展的方向。

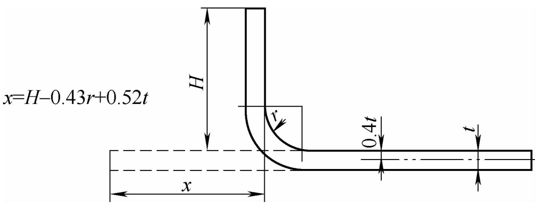


图 6-44　直角弯曲展开计算示意图

1）无伸长或压缩的纯直角弯曲的情况，设中性层为料厚的 40%，如图 6-44 所示。

2）压缩翻边（90°弯曲），压缩翻边展开计算示意图如图 6-45 所示。

$$x=[(R+H)^2-0.86Rr-0.14r^2-H^2]^{-2}-R$$

当 $r<R$ 时：

$$x=[(R+H)^2-0.86Rr-H^2]^{-2}-R$$

3）伸长翻边（90°弯曲），伸长翻边展开计算示意图如图 6-46 所示。

$$x=R-[(R-H)^2-0.86Rr-0.14r^2-H^2]^{-2}$$

当 $r<R$ 时：

$$x=R-[(R-H)^2-0.86Rr-H^2]^{-2}$$

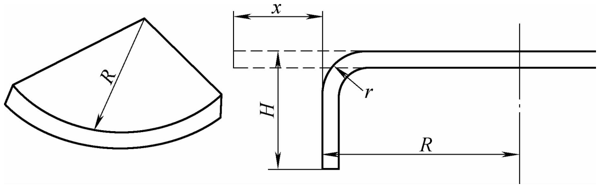


图 6-45　压缩翻边展开计算示意图

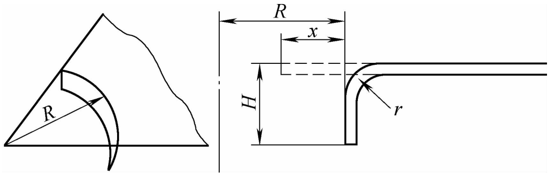


图 6-46　伸长翻边展开计算示意图

4）压合时修边尺寸展开的计算方法如图 6-47 所示。

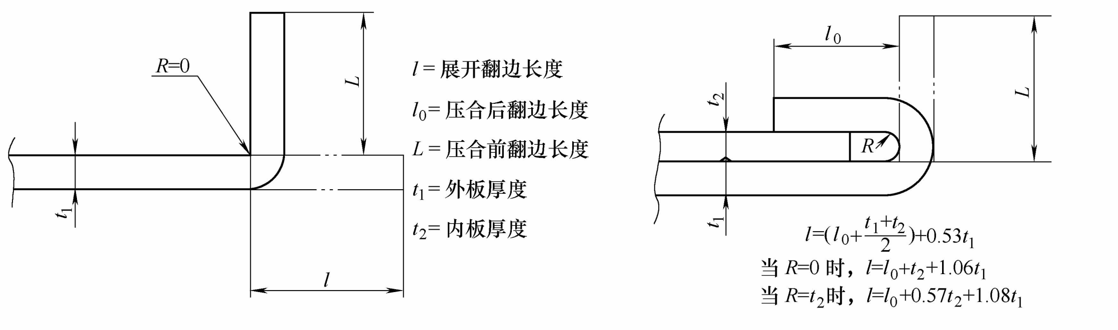


图 6-47　压合展开计算示意图

6.7.3　二次修边接刀的制作

由于强度和废料排放问题，工程机械覆盖件的修边往往不是一次完成，当采用多次修边工艺时，每次修边之间就不可避免地产生接刀问题。接刀形状和尺寸需要采用特殊结构处理。

1）薄板接刀方式如图 6-48 所示。

2）厚板接刀方式如图 6-49 所示。

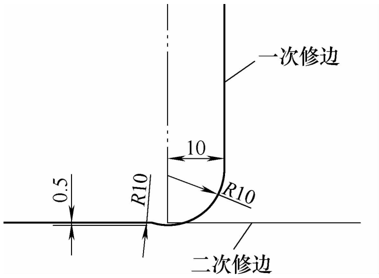


图 6-48　薄板接刀方式

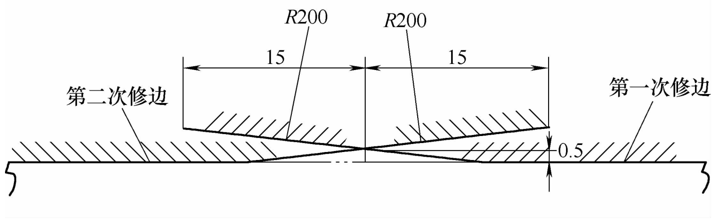


图 6-49　厚板接刀方式

6.7.4　减小冲裁力的措施

工程机械产品材料厚、材料抗拉强度大、剪切力大，若瞬间进行切断，所需冲裁力会很大，为此采用波浪刃口切入的方法，可以减小冲裁力。缓切是一种较常采用的处理方法。

1）缓切一定要设在废料侧的刃口上。一般情况下，刃口切入量为 2～4mm，废料切刀部位的切入量为 7mm。

切入及缓切部位的结构如图 6-50 所示。

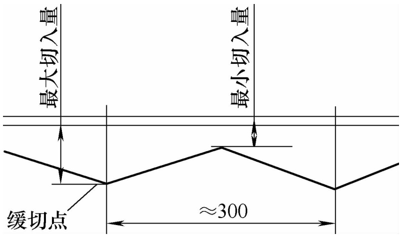


图 6-50　小型件缓切示意图

大型的形状修边凹模刃口一般可根据修边线形状简化成折线，构成波浪形，如图 6-51 所示。

2）倾斜面的冲孔。

① 倾斜面的冲孔。如图 6-52 所示，θ 在 10°以下时，将凸模的前端设成平的；加上斜

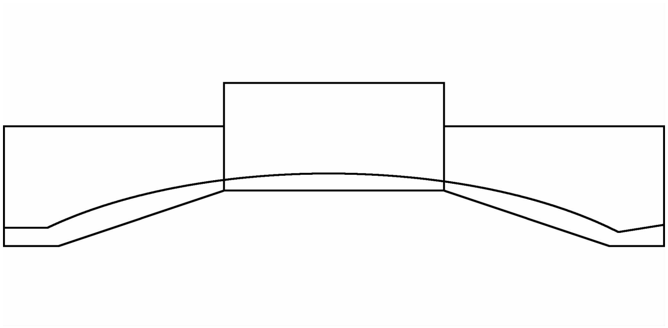


图 6-51　大型件缓切示意图上模刃口线

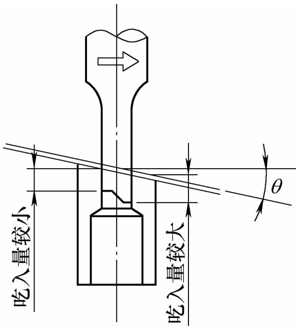


图 6-52　倾斜面的冲孔示意图

角，剪断时的反力是指向箭头的方向的，因此要从斜面的下侧切入。

② 倾斜面的大口径冲孔（门的窗框部等）。剪断时的反力是指向箭头的方向，因为斜面的下侧成为上刃切入的方向，所以要从侧面下侧切入，如图 6-53 所示。

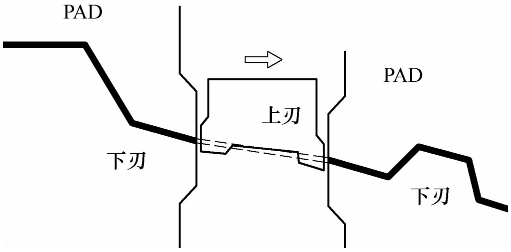


图 6-53　倾斜面的大口径冲孔

6.7.5　废料处理

废料刀的布置是修边工艺制定的一项重要内容，它在 DL 图上是必不可少的。废料刀布置得是否合理，直接影响到废料能否顺利地滑落，进而关系到冲压生产的效率，所以废料刀的布置是用户最关心的内容之一，也是修边工艺成败的关键。

废料刀的布置有以下几个原则：

1）废料刀的布置首先要保证废料排除通畅，要考虑废料从各个方向翻转都能顺利落下。为了保证废料从废料刀一侧落下，应使废料刀顺时针或逆时针沿圆周设置，并且废料刀的刀面角度为 10°。

2）废料刀的开角相对于整刀应呈直角，而当修边线为内凹曲线时，如图 6-54 所示，则废料刀应与模具中心线平行。

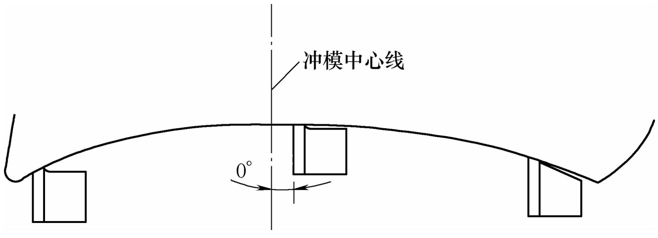


图 6-54　内凹曲线废料刀布置方式

3）废料刀的布置应根据产品的特点。

① 当产品修边线有凹形和凸台时应按图 6-55 布置，当按图布置废料仍然不能顺畅排出时，应采取顶销或刚性钩料的强制方法保证废料的顺畅滑落。

a)　b)

图 6-55　废料刀布置方式

a）凸出部分　b）凹缺部分

② 不要使凸模刃口与废料刀相对，如不可避免时，废料刀开角应设计成20°或设置强制落料装置。

③ 对于轮罩，车门，侧围等存在很大的内凹形状料刀应布置在顶点，避免出现废料刀过长的情况。

④ 避免出现废料刀强度太弱的情况 。

⑤ 废料刀的布置应根据产品的大小（箭头为废料流向）。小型产品的废料刀布置如图6-56所示，中型产品的废料刀布置如图6-57所示，大型产品的废料刀布置如图6-58所示。

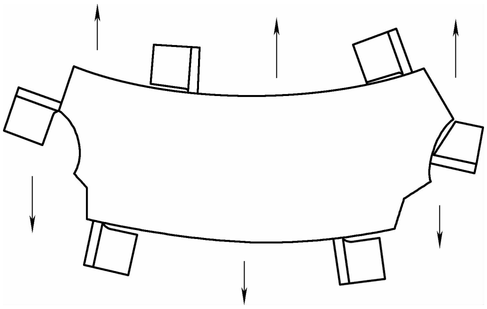


图6-56　小型产品的废料刀布置

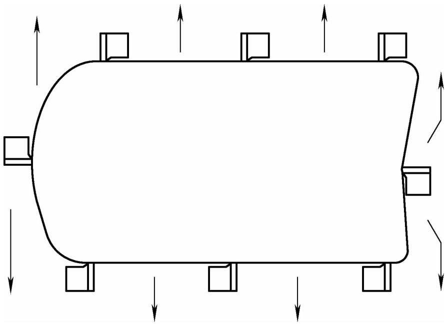


图6-57　中型产品的废料刀布置

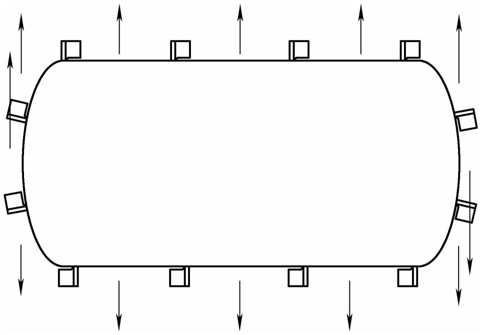
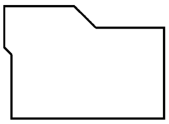
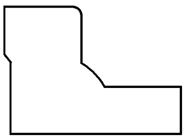
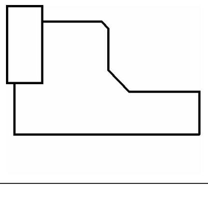


图6-58　大型产品的废料刀布置

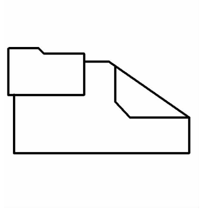
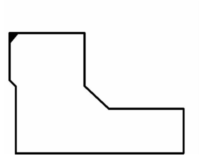
6.7.6　修边件模具

（1）切刃材料的选择　选择切刃（镶块）材料应综合考虑生产数量、零件板厚、零件形状等因素，见表6-3。

表6-3　切刃材料的选择原则

切刃类型		材　　料	选择条件
实心型		SKD11 T10A SX105V Cr12MoV HMD5	用于落料模，截面形状上的高度变化小时
铸造合金型		ICD5 GM190 2363高韧性中合金工模具钢 KSCD700I KSCD800I KSCD800IS 其他	使用于一般结构，截面形状上的高度变化大时
嵌入钢材型（立式嵌入）		HT250 + T10A HT250 + Cr12MoV FC250 + SKD11 FC250 + HMD5	修边线在平面形状上的变化小时

（续）

切刃类型		材　　料	选择条件
嵌入钢材型(横式嵌入)		HT250 + T10A HT250 + Cr12MoV FC250 + SKD11 FC250 + HMD5	平面形状变化大,截面形状变化小时
角铁型(焊接刃口)		FCD550 HT250 SC Q235-A. F FC	平面或截面形状上的变化大时

（2）工作部分材料选用原则　选用原则见表 6-4。

表 6-4　工作部分材料选用原则

生产数量	板厚/mm	切刃形式	材　　料
中批量生产,总计 35 万台以上,月产 3500 台以上	>2.5	锻造镶块	Cr12MnV
	>1.2～2.5	锻造镶块	T10A(平直刃口)、Cr12MnV
	≤1.2	锻造镶块	7CrSiMnMoV、T10A、Cr12MnV
中小批量生产,总计 20 万台以上,月产 2000 台以上	>2.5	锻造镶块	T10A(平直刃口)、Cr12MnV
	>1.2～2.5	锻造镶块	7CrSiMnMoV、T10A、Cr12MnV
	≤1.2	锻造镶块	7CrSiMnMoV、T10A
		锻造镶块	7CrSiMnMoV
小批量生产,总计 15 万台以下,月产 1500 台以下	>2.5	锻造镶块	T10A(平刃口)、Cr12MnV
	>1.2～2.5	锻造镶块	T10A(平刃口)、Cr12MnV
		锻造镶块	7CrSiMnMoV、T10A
	≤1.2	锻造镶块	T10A
		锻造镶块	7CrSiMnMoV
		堆焊刃口	铸铁基体、铸钢基体

（3）定位型面、压料面　定位型面、压料面的设定有助于在冲模上加工必要最小量的型面、压料面，以减少加工工时。

1）型面变化大的零件。型面变化大的零件，尽量与有角度的斜面多贴合，防止产品窜动。能用切刀定位时，尽量减少定位型面。

2）能用局部型面定位的，尽量在型面开空刀。压料芯型面开空刀影响强度时，按加工指示。应尽量在铸件上开空刀。

3）能保证必要型面量，但工件不能定位时，局部设型面定位。

4）高顶棚、长顶棚等制品无刚性，距 R 切点 30～50mm 处设型面。标准顶棚可取基本尺寸。高顶棚无加强筋时，为防止板料放置后发生变形，在中央设置 1～2 处宽 60～80mm 的型面。

5）顶棚等外板件无刚性，在基准侧设最小限度的型面。由于压料芯与制品之间存留间隙，由于气压增大会使板料变形，必须在压料芯、上模座设置若干处铸造通孔（ϕ50mm 以上）。压料芯与上模座的铸造通孔位置平面方向上不能一致（防止灰尘下落）。

6）冲孔部位每一点，都设定位面，修边线与冲孔接近时按下述设置。尺寸型面间距在20mm以上时，型面不连接。特别是内板件按下述设置：型面取最小限，只标注型面尺寸，不标注位置尺寸。

7）镶入式压料芯的结构，只设置必要的型面，不需要的部分在数控加工时应空开。必须在图样上标注型面面积和型面空刀量。

6.7.7　修边冲孔安全防护

1）活动压料芯要有防护板。

2）冲模闭合时，下底板与压料芯制件的空隙不宜小于15mm。

3）导柱和限制器的布置。

① 导柱布置应能保证制件在冲模之间畅快流通，在特定条件下允许放在上面（如门外板拉深模）。

② 导柱离工作部分应远些，避免妨碍送料和取料。

③ 限制器布置应距手活动区远些，一般在导柱内侧或外侧。

④ 为了操作安全与取料方便，冲模上应开空手槽。

⑤ 料厚2mm以上的，剪切模应有防振压料机构。

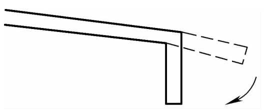
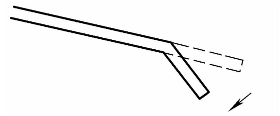
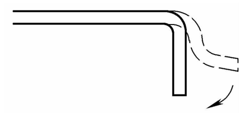
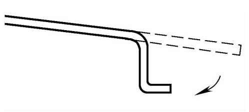
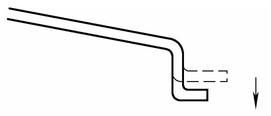
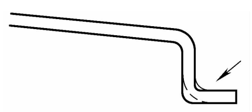
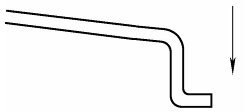
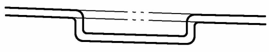
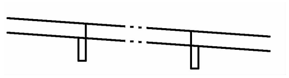
⑥ 压料芯上部空隙应大于2倍料厚，但不小于5mm，这样就算冲双料时也不至于把模具挤坏。

6.8　翻边整形制造技术

6.8.1　翻边整形件类型

翻边整形件类型见表6-5。

表6-5　翻边整形件类型

1)单纯弯曲(减径)	2)单纯折弯(钣金)	3)过拉深部分(成形)
		
4)台阶折弯	5)加深成形	6)整形 *R* 部
		
7)面整形(第二次压)	8)局部整形	9)V、U形折弯
		
10)内缘翻边	—	
		

6.8.2　翻边整形模应用范围

1）覆盖件上的翻边多数为相互连接使用，同时又能提高自身的刚度。因此翻边是保证整车装配精度的重要因素之一。由于覆盖件拉深后都需要进行修边，切除工艺补充，而修边以后的覆盖件都会产生变形，同时刚性也显著降低。为此覆盖件多在修边以后安排翻边工序。多数可伴随整形，这样不但弥补了修边以后的变形，而且也提高了覆盖件的刚性。

2）工程机械地板、立柱等零件在切边时的切边刃口角度很大，会产生钝切或锐切问题。这两种情况，第一种容易产生飞边，第二种刃口会出现强度不足的情况。这时就需要对切边线所在面做相应的处理。比如拉深时，先把切边线所在面拉平，以保证有好的切边刃口。后续再把切边线所在面整回所需的形状。

3）复杂型面零件在多次拉深时，为保证各序压边面统一，有时也需要对零件数模压边面所在面进行形状变更，然后再进行整形。

4）为保证冲压件能顺利成形，往往在拉深工序中对产品的某些形状和特征进行改动，如加大圆角，对位于压料面的制件形状进行模糊处理等，而这些产品形状的恢复一般是通过整形工艺来实现的。另外，由于冲压缺陷和拉深变形不均匀导致拉深修边后的制件产生变形，而产品又对这些形状有特别的要求，如工程机械中侧围、门洞等零件，产品出于密封性考虑，对产品上的大平面有平面度的要求，此时拉深修边后的零件往往不能满足这一要求，此时也需要通过整形来满足这些特殊要求。整形工艺虽然是覆盖件冲压工艺的一种，但工艺比较简单，其输入是拉深或拉深修边后的工序制件，要通过该工艺获得的是符合形状要求的制件。因此，整形通常不会被作为一道单独的工艺，即出于经济性考虑不会单独用一套整形模去实现整形工艺。所以在覆盖件冲压工艺设计时，通常把整形工艺和翻边工艺合并，形成翻边整形复合工艺。

翻边整形模是主要完成拉深所无法成形的情况，或者能成形但出现后续工序无法处理的局部边及形面的情况。从零件翻边方向上看，有向上翻边、向下翻边（见图6-59）、上下翻边（见图6-60）三种情况。

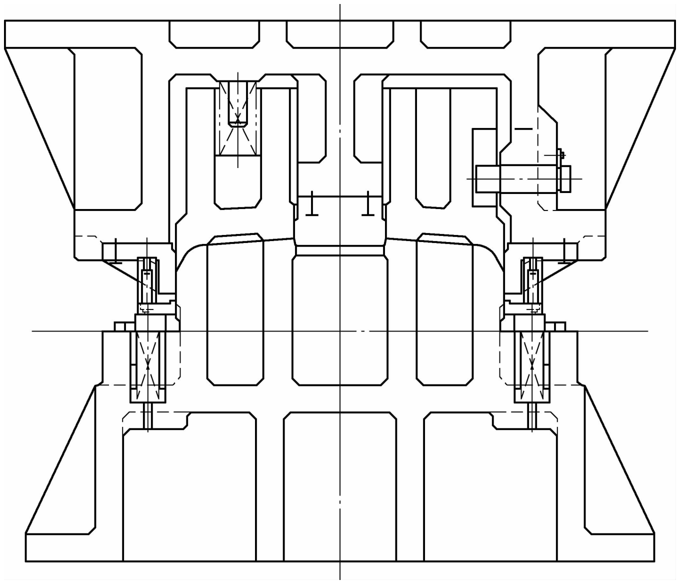


图6-59　向下翻边

6.8.3　翻边工艺

翻边与弯曲不同，弯曲的折弯线为直线，切向没有变形；而翻边时的折弯线为曲线，切向有变形，并且常常是主要的变形。

伸长类翻边的设计原则：

1）翻边后零件的形状取决于凸模尺寸，所以凸模曲率半径与圆角半径应等于零件的相应尺寸。

2）为防止毛坯侧壁起皱，提高零件质量，应取凸、凹模单边间隙值等于或略小于料厚。同时应使凹模与模座之间固定可靠以保证间隙不变。

3）当凹模曲率半径大于凸模曲率半径时，可有效地降低圆弧部分切向应变的数值。

4）要注意冲压方向。对于对称零件，应使毛坯或零件的对称轴线与凸模轴线重合。对于不对称的零件，应使成形后的零件在模具中的位置保证两边直线部分与凸模轴线所成的角度相同，如果不相同，则可能出现侧变力。

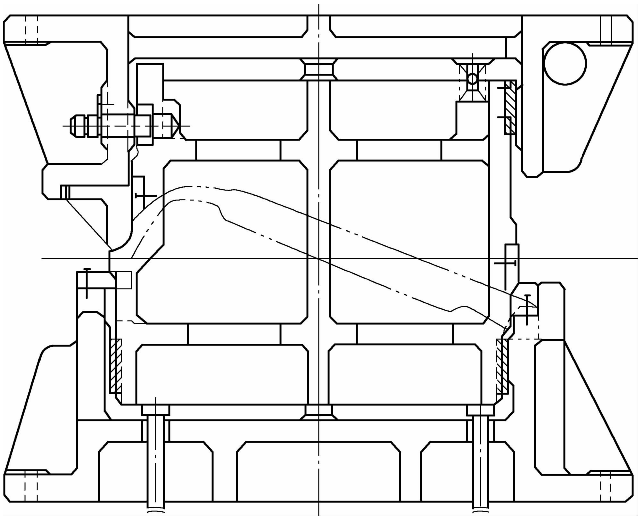


图 6-60　上下翻边

压缩类翻边设计原则：

1）零件的形状决定于凸模尺寸。因此应使凸模尺寸与相应的零件尺寸相等。

2）凹模曲率半径尽管与零件形状无关，但对毛坯的变形有一定的影响；模具应保证一定的刚度，以防止模具间出现间隙。

3）模具设计的过程中也应注意冲压方向。

6.8.4　翻边缺陷预处理

（1）翻边开裂处理　对于像车轮弓形部位和拐角部位进行伸长型弯曲加工时，要预存材料，防止裂纹产生，如图 6-61 所示。

（2）翻边多料处理　对于像地板弧形部位进行压缩翻边时，这类区域存在多料起皱。模具设计前期在起皱区域增加工艺缺口，防止起皱叠料，如图 6-62 所示。

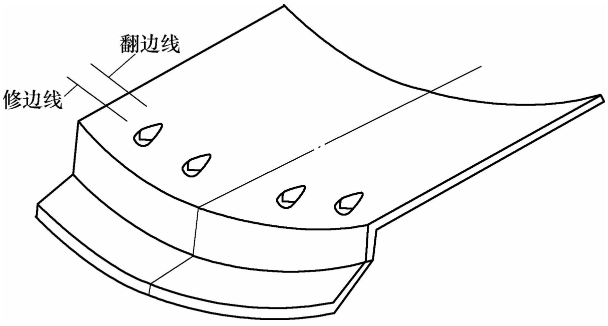


图 6-61　翻边开裂处理

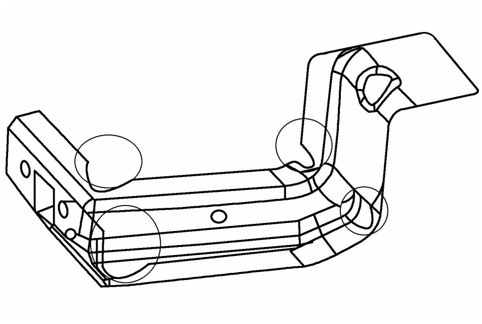


图 6-62　翻边多料处理

6.8.5　翻边件模具

1. 翻边扩张

工程机械覆盖件向内的翻边一般都是沿着覆盖件的轮廓，翻边加工结束后翻边件包在凸

模上无法取出，必须将凸模做成整体的。在压力机滑块行程向下翻边以前，利用斜楔的作用将缩着的翻边凸模扩张成翻边状态后即停止工作，在压力机滑块继续向下时翻边凹模开始翻边。翻边以后凹模在上模的带动下回程，然后翻边凸模在弹簧的作用下复位，取出翻边件。翻边机构的扩张行程以能够取出翻边件为准，这种机构称为翻边凸模的扩张机构，俗称翻边凸模开花机构。

2. 翻边件的摆放位置和定位方式

通常工程机械覆盖件翻边成形时，修边件多数是水平放置的。对于水平或倾斜方向的翻边，修边件通常是开口朝下放在翻边模上，这样可以在翻边模上很容易布置斜楔机构。在垂直翻边中，通常用修边件的侧壁、外形和本身孔定位。在斜楔翻边模中，通常使用修边件的内侧壁初定位，然后靠压料板将修边件压紧在翻边凸模上，再进行翻边。如果修边件上本身有孔，则用自身孔来定位。

3. 翻边时的压料

拉伸工艺中的压料主要是为了改善毛坯的变形条件，而翻边工序中的压料主要是为了使修边件在翻边过程中不产生位置的移动，拉伸时是在毛坯的外部压料，压料圈的下表面型面要和凹模上表面压料面相一致；而翻边时是在修边件的内部型面上压料，压料板的型面要和修边件的相应部位型面相一致。考虑压料的稳定性和降低成本，压料的压料部分一般靠近翻边轮廓部位和中间的几条压料带，而不是整个修边件上压料。所以压料板的压料部位要按工艺模样研配，不压料的部位可以不加工甚至挖空。

4. 翻边模的出件

翻边模制件一般包在翻边凸模上，退料时需要推动翻起的竖边，因此必须各处同时退，否则会造成退料后制件的变形。当制件厚度较小时，还需要在凸模上增加顶出机构。用斜楔模进行翻边，当翻边件形成向内包容的空间时，必须考虑零件从模具中的取出问题，在模具中设计退件机构。

在斜楔模中常用的退件方式有以下几种：

（1）用气缸直接退件　退件器与活动定位装置连接在气缸上，顶出制件。

（2）定位装置退件　退件器直接固定在活动定位装置上，退出制件。

（3）双斜楔退件　运用斜楔回退倒扣部分进行退件。

5. 翻边镶件

（1）凸模镶件组成的翻边轮廓　翻边件的翻边轮廓是由覆盖件的形状尺寸决定的。所以，在翻边过程中不产生变化的凸模镶件直接组成覆盖件所要求的形状尺寸；翻边过程中产生变化的凸模镶件在进行翻边工作时所组成的翻边轮廓形状要与覆盖件所要求的形状尺寸一致。

（2）凹模镶件组成的端面轮廓

1）当制件的翻边轮廓变化较大时，往往需要从几个不同的方向进行翻边，即不同的凹模镶件的运动方向将是不同的。根据翻边轮廓变化的大小，可以采取在修边工序中修出几个缺口，或采取不同方向的翻边凹模镶件先后进行翻边等方式来提高翻边质量。也可以通过使凹模镶件前沿的轮廓线与翻边轮廓线不重合，使不同部位的翻边按一定顺序进行，改变材料的流动情况，达到提高翻边质量的目的。

2）在平面上进行曲线翻边时，外缘的外凸形轮廓翻边为压缩类翻边，翻边部位的材料

向邻区流动得越多，翻边质量越好。这种情况下，可使翻边部位的凹模镶件所组成的端面为凸形轮廓。翻边成形时，凹模镶件端面凸形形状的中间部位先与毛坯接触，使翻边部位从两边顺序翻边，毛坯受到的切向压力减小，减少波纹、起皱、积瘤等不良现象的产生。

3）在平面上进行曲线翻边时，内孔的外凸形轮廓翻边为伸长型翻边，邻区的材料向翻边部位流动得越多，翻边质量越好。在这种情况下，可使翻边部位的凹模镶件组成的端面为凹模轮廓。翻边成形时，凹模镶件端面的凹形形状两边部位先与毛坯接触，使翻边部位按从两边向中间的顺序翻边，毛坯受到的切向拉伸应力减小，减少壁厚变薄、破裂等不良现象的产生。

4）在曲面上进行翻边时，向曲面的曲率中心方向翻边是压缩类翻边，翻边部位的材料向邻区流动得越多，翻边质量越好。翻边成形时，凹模镶件端面凸形形状的中间部位先与毛坯接触，使翻边部位按从中间向两边的顺序翻边，毛坯受到的切向压应力减小，不易产生波纹、起皱、积瘤等不良现象；向曲面的曲率中心的反方向翻边是伸长类翻边，邻区的材料向翻边中心流动得越多，翻边质量越好，凹模镶件端面的凹形形状两边部位先与毛坯接触，使翻边部位按从两边向中间的顺序翻边，毛坯受到的切向拉应力减小，减少壁厚变薄、破裂等不良现象的产生。所以，这两种情况下，都要使凹模镶件所组成的刃口端面轮廓的曲率半径大于凸模镶件所组成的翻边轮廓的曲率半径。

（3）镶件的分块　镶块分块原则如下：

1）小圆弧部分单独作为一块，结合面距切点 5～10mm。大圆弧、长直线可以分成好几块，结合面与刃口垂直，并且不宜过长，一般取 12～15mm。

2）在进行凸、凹模刃口的分块时，要使相邻的凸模刃口镶件之间的结合面与相邻的凹模刃口镶件之间的结合面互相错开 5～10mm。

在布置翻边凹模镶块时，各镶块的结合面不要分在凸形的向内翻边处。这种部位的毛坯翻边属于压缩类翻边，材料在成形过程中厚度增加后会挤入结合面的接缝中，使翻边件表面出现划痕，加快镶件的磨损。而应将易于磨损的区域集中在一块镶件上，便于维修和更换。

（4）凸、凹模镶件尺寸　翻边凸、凹模镶件的尺寸，可参考修边刃口的结构尺寸比列。同时还要注意以下事项：

1）翻边凸模镶件的形状尺寸，在保证镶件的强度和刚度的同时，要保证凹模镶件离开后能够顺利取出翻边件。

2）翻边凹模镶件的前端形状尺寸在设计时要考虑到翻边部分毛坯的变形特点。

3）在交接部位的翻边凹模镶件的形状，要使另一翻边方向的凹模镶件有足够的运动空间。

（5）凸模镶件的交接　当翻边轮廓是连续的，如外缘轮廓形状的翻边、窗口封闭内形的翻边等，一般由一个方向运动来完成翻边是不可能的，而是由两个或两个以上不同方向运动的翻边镶件进行翻边，这就需要考虑不同方向运动的凹模镶件的交接问题。轮廓形状翻边时，拐角处的材料由于切向受压而产生压缩变形，一般不在此处设单独的凹模镶件，而在此处设成交接区。翻边凹模镶件的交接处通常采用空开法或重复法两种处理方法。

1）空开法是指在冲模处于闭合状态时，各不同运动方向的凹模镶件在交接处留有空隙（1mm）。采用这种方法时，为了避免翻边件交接处形成积瘤，必须在修边件的相应部位预先冲出缺口。

2）重复法是指在交接处，两个不同运动方向的凹模镶件先后进行重复翻边，这种方法可以获得完整的周边翻边形状。

6.9　斜楔模具制造技术

6.9.1　斜楔模应用范围

1）简化工序。在大中型冲压模具的设计中，当某一冲压工序的压力机的行程方向不能实现时，或几个不同方向的冲压工序在压力机的一次行程中只能完成其中一个冲压工序时，则应考虑采用斜楔传动机构，以便实现侧面加工。

2）扩大模具的使用功能。斜模与滑块的合理组合可变垂直运动为水平运动、倾斜运动甚至逆向运动，使安装在滑块上的凸模（凹模）完成不同方向上的冲压工序，从而扩大了模具的使用功能。它不仅适用于侧面冲孔、翻边、修边，也适用于侧面成形、压窝或用于压料、顶件或力系平衡等。

3）组合工序。由于汽车覆盖件多为空间立体曲面，在覆盖件侧面采用斜楔冲孔、斜锲翻边、斜锲修边组合可大大减小模具开发成本，还可达到提高工效的目的。

6.9.2　斜楔装置的形式

斜楔装置按结构形式可分为平动式（水平式或卧式）、倾斜式、吊装式、逆动式，箱体式 5 种类型共 78 种规格，其中，箱体式分为基本型和万向型。

按滑块导向结构斜楔装置又可分为导杆型和导板型。

6.9.3　常用类型介绍

1）平动式（亦称水平式或卧式）。如图 6-63 所示，滑块在斜楔的驱动下做水平（即工作角度为零）方向运动，完成侧面冲压工序。

2）倾斜式。如图 6-64 所示，滑块在斜楔的驱动下产生与水平面形成 5°～20°正向倾斜运动，完成斜面冲压工序。

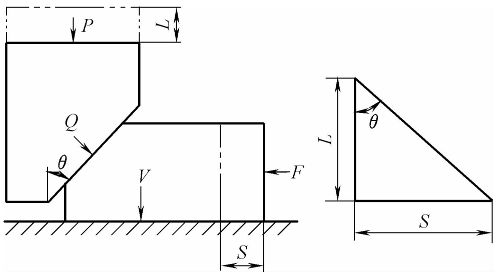


图 6-63　平动式斜楔结构示意及力线图

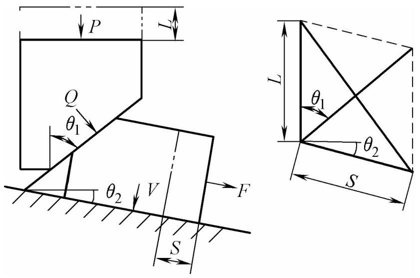


图 6-64　倾斜式斜楔结构示意及力线图

3）吊装式。如图 6-65 所示，主要特点是滑块与滑座均吊装于上模，而斜模装于下模。由于它是一种倒置式的空间机构，亦称为“吊楔”。该结构工作角度为 0°～70°，工作区域比较开放，取、放工件方便，适用于大工件深位冲孔，但应注意安全，防止滑块脱落，造成事故。

4）逆动式。如图 6-66 所示，工作角度为 90°，主要是通过中间滑块，使工作滑块产生逆向运动，完成反向冲压或压料、顶件等工序。

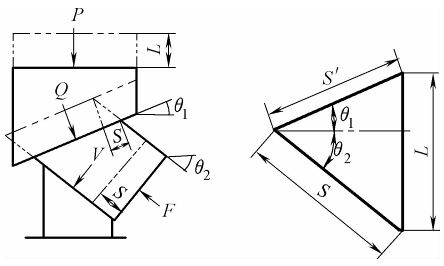


图 6-65　吊装式斜楔结构示意图及力线图

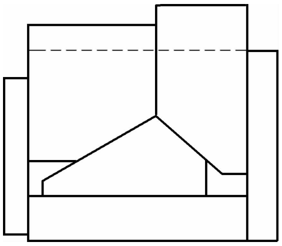


图 6-66　逆动式斜楔结构示意图

5）箱体式。如图 6-67 所示，工作角度为 0°～60°，主要特点是斜楔与滑块均置于箱体内部，结构简单、紧凑，通用性好，使用安全方便。适用于小批量单凸模冲孔。

6.9.4　选用标准斜楔装置的基本条件

1）冲裁力：实际冲裁力应小于或等于额定载荷。

2）工作角度：应与标准规定的工作角度一致或接近。

3）工作行程；应小于或等于标准规定的行程。

4）凸模或凹模尺寸：以不超过标准规定的安装尺寸为宜。

5）装置外形尺寸：应小于模具允许安装空间尺寸。

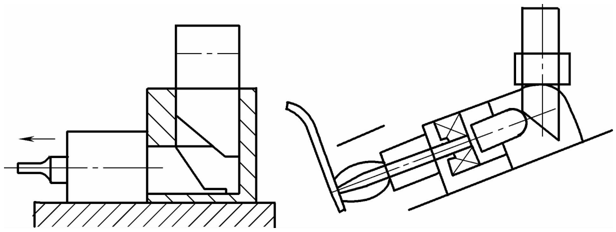


图 6-67　箱体式结构示意图

6.9.5　使用注意事项

由于斜楔装置的主要零件均为受力元件，因此在设计选型、安装调试、生产使用和维修保养时，应注意以下事项：

1）实际工作载荷（冲裁力）不能超过标准规定的额定载荷。

2）斜楔有效行程不能超过标准规定的最大行程，也就是说，不能超过装置的闭合高度，否则将有可能造成机构的损坏。

3）凸模（或凹模）的安装应选择在标准规定的安装尺寸范围内，并尽可能靠近中心位置，以免造成偏载，影响使用寿命。

4）冲孔凸模悬臂不宜过长，建议选用快换结构标准件（如球锁式、键锁式凸模等），以便于易损件的快速更换。

5）当需要对装置进行分解和再装配时，应防止零件表面擦伤、碰伤并防止铁屑、灰尘等杂物混入。滑动偶件间要及时涂润滑油脂，非工件表面涂防锈油脂。

6）当模具库存不用时，要及时清洁斜楔与滑块填充固体润滑剂的表面，并用棉纱涂以少量润滑脂，以防油脂挥发，降低含油率，影响自润滑效果和使用寿命。

6.10 弯曲件制造技术

6.10.1 弯曲件类型

工程机械常用弯曲件有外板类和内板类

1）外板类如保险杠（见图 6-68）、翼子板、顶盖等。

2）内板类如骨架加强梁类、支架类产品等。

6.10.2 成形性分析

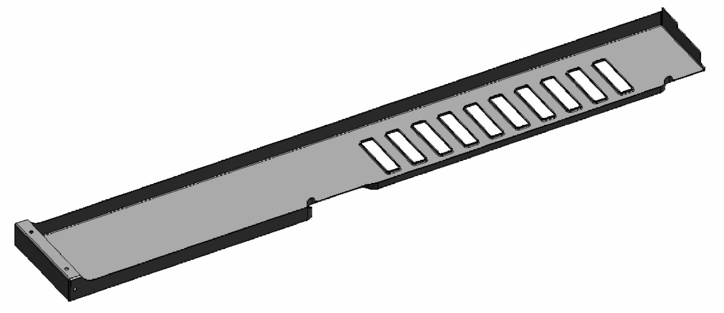


图 6-68　矿用车保险杠

（1）弯曲过程（以 V 形弯曲为例）

1）凸模运动接触板料（毛坯）时，板料由于凸、凹模不同的接触点力作用而产生弯矩，在弯矩作用下发生弹性变形，产生弯曲。

2）随着凸模继续下行，毛坯与凹模表面逐渐靠近，弯曲半径及弯曲力臂均随之减小，毛坯与凹模的接触点由凹模两肩移到凹模两斜面上，这是塑性变形开始的阶段。

3）随着凸模的继续下行，毛坯两端接触凸模斜面并开始弯曲，这是回弯曲阶段。

4）压平阶段：随着凸凹模间的间隙不断变小，板料在凸凹模间被压平。

5）校正阶段：当行程到底，对板料进行校正，使其圆角直边与凸模全部贴合而成所需的形状。

弯曲变形的特点是板料在弯曲变形区内的曲率发生变化，即弯曲半径发生变化。

（2）产品的形态与成形过程

1）弯曲。受力分析：金属材料受到的应力大于弹性极限而又小于抗拉深极限（断裂极限）。所受的应力包括压应力、拉伸应力。

2）弯曲变形分析。

① 折弯时材料一边受压应力、一边受拉伸应力，并且拉伸应力占主导作用，故在中性层的材料中心偏向折弯内侧。

② 材料的外层纤维由于受到拉伸应力，材料产生相对移动，材料的不足由宽度和厚度方向补充，故材料宽度尺寸减小。

③ 材料的内层纤维由于受到拉伸应力，内层材料向宽度方向移动，致使材料内层宽度增加。当材料的宽度小于 3 倍的料厚时，断面的畸变尤其明显。由于拉伸应力占主导作用，故弯曲区域的毛坯有变薄现象。

6.10.3 弯曲件的工艺性

（1）最小弯曲半径　对于一定厚度的材料，弯曲半径越小，外层材料的伸长率越大，当外缘材料的伸长率达到并超过材料的伸长率后，就会导致弯裂。在保证毛坯最外层纤维不

发生破裂的前提下，所能获得的弯曲零件内表面最小圆角半径与弯曲材料厚度的比值 r_{min}/t 称为最小相对弯曲半径。

弯曲件弯曲半径不宜小于最小弯曲半径，否则，毛坯外表面变形可能会超过材料变形极限而破裂；也不宜过大，因为过大时，受到回弹的影响，弯曲角度与弯曲半径的精度都不易保证。

对于厚板料小圆角弯曲时，可在毛坯弯曲线的两端预先切圆弧切口工艺槽，避免侧面畸变影响弯曲件的宽度尺寸。

（2）弯曲件直边高度　当弯曲件为90°弯曲时，应使其直边高度 $h>2t$，否则没有足够长的弯曲力臂。当 $h<2t$ 时，应预先压槽，再弯曲或增加直边高度，弯曲后再切除高出的部分，如图 6-69 所示。

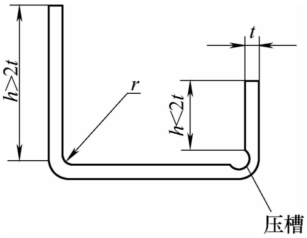


图 6-69　弯曲件处理示意图

（3）防止弯曲时孔、边变形的工艺措施

1）弯曲时孔变形的原因。预先冲好孔的毛坯在弯曲时，在变形区域范围内的孔会变形，在采用 U 形弯曲时，由于材料流动方向不同，在 U 形底部的孔比侧边的孔变形大得多。

2）防止孔变形的措施。

① 采用冲缺口或月牙槽，使孔周边与变形区域分离，达到防止变形的目的。防止孔变形的常用措施如图 6-70 所示。

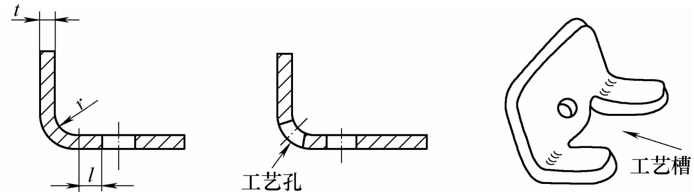


图 6-70　防止孔变形的常用措施

原则：所冲缺口的尺寸应以不妨碍材料流动，不损伤产品使用性能为前提。

② 弯曲前追加预压筋，减小材料的变形区域。

③ 防止弯曲工件短边产生畸变的措施。

④ 弯曲前追加预压筋，减小材料的变形区域，减小材料的流动性。

⑤ 边缘有缺口的弯曲件的成形顺序为先折弯再冲缺。

（4）止裂孔、止裂槽　板料边缘需局部弯曲时，为了避免角部畸变与形成裂纹，应预先切槽或冲工艺孔，如图 6-71 所示。

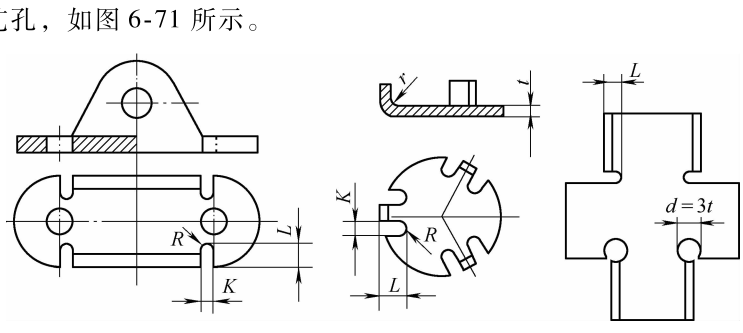


图 6-71　止裂孔、止裂槽

（5）弯曲件的尺寸标注　弯曲件的尺寸标注有三种方法，如图 6-72 所示。图 6-72a 可以采用先落料冲孔，然后弯曲成形；而图 6-72b、c 为了保证尺寸，只能先弯曲后冲孔，增加了工序。

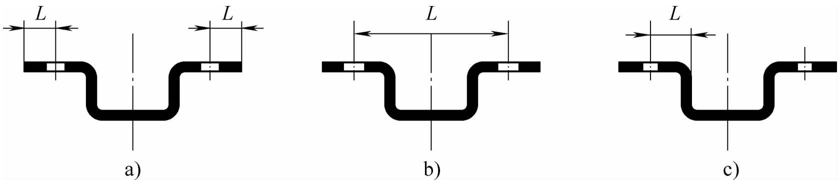


图 6-72　弯曲件尺寸标注

（6）弯曲件的尺寸精度　弯曲件的尺寸精度以不高于 IT13 级为宜，角度公差应不大于 ±15′。若对尺寸精度有较高要求，在结构设计上应设置定位工艺孔；对角度公差有较高要求时，应在弯曲工艺方面增加整形工序。

6.10.4　弯曲工艺计算

（1）弯曲件毛坯展开尺寸计算　弯曲件毛坯展开尺寸是指弯曲件在弯曲之前的展平尺寸。对于形状比较简单、尺寸精度要求不高的弯曲件，可直接采用下面介绍的方法计算毛坯长度。

在计算弯曲件毛坯的尺寸时，首先要确定中性层位置，如图 6-73 所示。

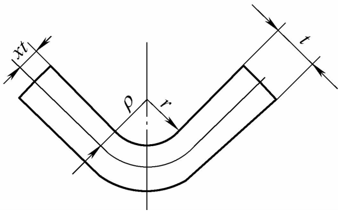


图 6-73　弯曲件中性层

在生产中，一般用经验公式表示，中性层的位置以曲率半径 ρ 来表示

$$\rho = r + xt$$

式中　x——中性层位移系数，其值见表 6-6。

表 6-6　中性层系数 x 的值

r/t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
x	0.21	0.22	0.23	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33
r/t	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	≥8.0
x	0.34	0.36	0.38	0.39	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50

1）圆角半径 $r>0.5t$ 的弯曲件展开尺寸。

$r>0.5t$ 的弯曲件即称有圆角半径的弯曲件，如图 6-74a 所示。由于弯曲部分变薄不严重及断面畸变较小，所以可按中性层展开长度等于毛坯长度的原则，毛坯长度等于弯曲件直线部分长度和圆弧部分长度的总和。

$$L = \sum l_{直线} + \sum l_{圆弧}$$

式中　L——弯曲件毛坯展开长度。

$l_{直线}$——直线部分各段长度。

$l_{圆弧}$——圆弧部分各段长度。

在图 6-74a 中，弯曲件的展开尺寸为：

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi\alpha}{180}\rho = l_1 + l_2 + \frac{\pi\alpha}{180}(r + xt)$$

2）圆角半径 $r<0.5t$ 的弯曲件展开尺寸。这类弯曲件按变形前后体积不变原则确定毛坯长度，如图 6-74b 所示。

弯曲前的体积：$V=Lbt$

弯曲后的体积：

$$V'=(l_1+l_2)bt+\frac{\pi t^2}{4}b$$

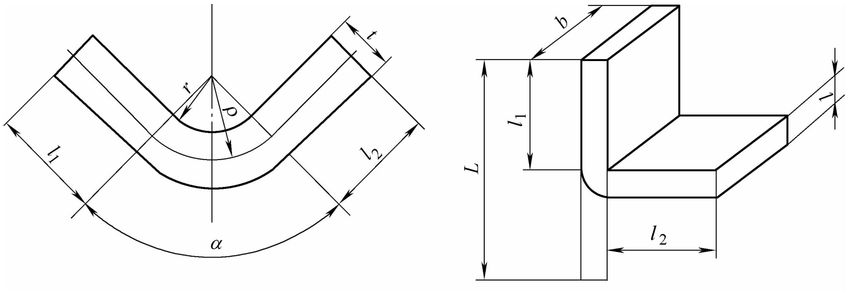
由 $V=V'$，则有 $L=l_1+l_2+0.785t$

由于弯曲变形时，不仅在毛坯的圆角变形区产生变薄，而且与其相邻的两直边部分也相应地变薄，因此对上述公式作如下修正

$$L=l_1+l_2+x't$$

式中　x'——系数，一般取 $x'=0.4\sim0.6$。

对于形状比较复杂或精度要求高的弯曲件，在利用上述公式初步计算毛坯长度后，还需反复试弯不断修正，才能最后确定毛坯的形状及尺寸。



a)　　b)

图　6-74

a）$r>0.5t$ 的弯曲件　b）$r<0.5t$ 的弯曲件

3）有限元展开尺寸计算。在金属板料成形过程中，初始毛坯对于钣金件的成形质量有着很大的影响。根据工程机械产品造型特点，不同的展开计算方法适应不同形状零件、不同成形工艺的需要。传统的钣金零件毛坯展开方法如经验公式法、垂直投影法、线性映射法、球面投影法、弧长法、几何映射法、径向长度展开法、均值投影法、截切线展开法、双截切线展开法等一般是基于试验和简单的理论，而且只适合于一些形状相对规则的零件。对于形状不规则的复杂钣金件，还无法根据经验或采用解析法来求得其毛坯形状。求解钣金零件毛坯展开的形状和尺寸已成为冲压工艺设计中的一个重要而亟待解决的问题。近年来随着计算机技术的迅速发展，有限元方法得到了大力发展，有限元思想在钣金零件毛坯展开方面发展出一些方法并逐渐被认识和应用，如有限元增量法、有限元逆算法、结构进化优化方法、比例因子法和物理逆向法等。通过 CAE 前期介入，在试模中给出初始毛坯，后期经过试模验证，最终确定合格的零件展开尺寸。

（2）弯曲力的计算　弯曲力是指工件完成预定弯曲时需要压力机所施加的压力，是选择压力机和设计模具的重要依据之一。

1）自由弯曲时的弯曲力。

V 形件弯曲力的计算公式

$$F_{自}=\frac{0.6KBt^2R_m}{r+t}$$

U 形件弯曲力的计算公式

$$F_{自} = \frac{0.7KBt^2R_m}{r+t}$$

式中　$F_{自}$——自由弯曲在冲压行程结束时的弯曲力（N）；

B——弯曲件的宽度（mm）；

t——弯曲材料的厚度（mm）；

r——弯曲件的内弯曲半径（mm）；

R_m——材料的强度极限（MPa）；

K——安全系数，一般取 $K=1.3$。

2）校正弯曲时的弯曲力。

校正弯曲时的弯曲力计算公式

$$F_{校} = Ap$$

式中　$F_{校}$——校正弯曲力（N）；

A——校正部分投影面积（mm^2）；

p——单位面积上的校正力（MPa）。

3）顶件力或压料力。若弯曲模设有顶件装置或压料装置，其顶件力（或压料力 F_D）可近似取自由弯曲力的 30% ~80%，即

$$F_D = (0.3 \sim 0.8)F_{自}$$

4）压力机公称压力的确定。自由弯曲时，压力机的压力必须大于自由弯曲力；校正弯曲时，压力机的压力必须大于自由弯曲力和校正弯曲力之和。但有时校正弯曲力比自由弯曲力大得多，故自由弯曲力可忽略不计。

6.10.5　弯曲件常见问题

（1）弯曲件的滑移　由于毛坯与模具之间存在摩擦，当摩擦力不平衡时将造成毛坯的移位，称作滑移。滑移的结果会使弯曲件的尺寸达不到要求。

1）产生滑移的原因（由于两边摩擦力不等）如下：

① 工作不对称，毛坯两边与凹模接触面不相等。

② 凹模两边的边缘圆角半径不相等，半径小，摩擦力更大。

③ 两边折弯的个数不一样。

④ V 形弯曲中，凹模不是中心对称，角度小的一边正压力大，摩擦力大。

⑤ 凹模两边的间隙和润滑情况不一样。

2）防止滑移的措施如下：

① 尽可能采用对称凹模，边缘圆角相等，间隙均匀。

② 采用弹性顶件装置的模具结构，如图 6-75 所示。

③ 采用定位销内定位的模具结构。

④ 内定位应设计为便于调整的形式，即内定位可设置在镶块中，可以通

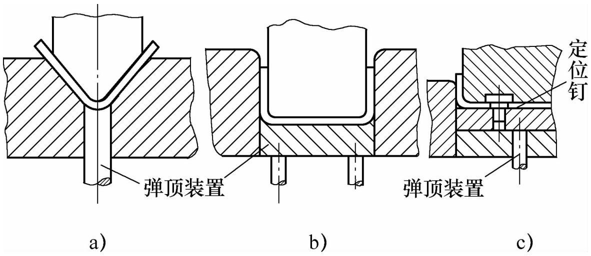


图 6-75　常见的弹顶装置形式

过调整镶块的方式来调整内定位。

（2）扭曲和挠曲变形

1）扭曲和挠曲产生的原因如下

扭曲是弯曲制件沿宽向发生扭转，使两端面投影不能重合，扭曲产生的原因是由卸料力不在同一平面内，而出现力矩，使制件受扭。挠曲常发生在宽板弯曲中，弯曲后沿宽度 b 方向，变形区棱线发生“两头翘起、中间凹陷”的现象，其产生原因和回弹有关。窄板在弯曲变形时，中性层外侧材料受拉变长，内侧受压缩短。因变形前后体积不变，被拉长的外侧其宽和厚要缩短，被压短的内侧其宽和厚要伸长，若厚度变化很小，则宽向截面将发生较大的变形。对于宽板弯曲情况就不同了。由于宽向尺寸很大，对宽向变形阻力也很大，在弯曲变形后，宽向截面几乎不变形。但材料内部出现了沿宽向的附加应力，此应力对中性层外侧为张应力，内侧为压应力。弯曲卸除后附加应力消失，引起和附加应力反方向的变形，即外侧缩短，内侧伸长。于是在宽向发生挠曲。

2）消除挠曲的方法如下：

① 将凹模棱线预先做成弧线，在弯曲变形的同时使制件产生和挠曲变形相反方向的变形，待回弹后挠曲得到补偿而消失。

② 增加模具刚度，加大模具压料力。

（3）热板模具常见问题　与冷轧薄板料相比，热轧厚板料的外表质量差、厚度公差大、力学性能不稳定，并且由于材料的伸长率较低，有效硬化曲线数据的应变范围较窄。其成形方式主要为弯曲，并伴有局部的伸长类或压缩类翻边，少数情况下还包括胀形。热板弯曲，相对弯曲半径较小，故弯曲成形时的质量问题主要是回弹与裂纹。回弹会影响到装配，而产生裂纹则影响到纵梁的承载能力和使用寿命。

1）回弹。回弹的原因：材料是由众多层的纤维排列而成的，每一层纤维的受力情况不一样，最外层受拉伸应力最大，最里层受压应力最大，两种力的大小向中性层方向递减。故在折弯成形后，并不是所有的纤维层的受力都大于材料的弹性极限，所以处于弹性变形阶段的材料有回复的现象。

影响回弹的因素：由以上分析可知，材料所受的应力越大于材料弹性极限（当然，必须小于材料的抗拉深极限），产品折弯成形越稳定，故应力是决定材料是否回弹的主因素。

① 材料的弹性极限越高，所需要的变形应力就越大，回弹也就越大。

② 材料的相对弯曲半径 R/T 越小，应力就越集中，回弹就越小。

减小回弹的措施如下：

① 改进零件设计。在变形区设计加强筋或成形边翼，增加弯曲件的刚性和成形边翼的变形程度。

② 选用弹性模量大、屈服强度小、力学性能稳定的材料，也可使弯曲件的回弹量减小。

③ 采用校正弯曲代替自由弯曲，增加弯曲力。

④ 加热弯曲。

⑤ V 形弯曲可在凸模上减去一个回弹角；U 形弯曲可将凸模壁做出等于回弹角的倾斜角（见图 6-76a），或将凸模顶面做成弧面（见图

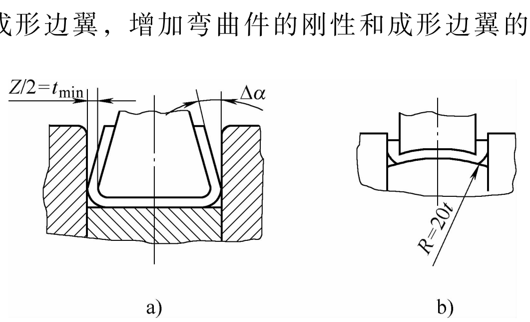


图 6-76　减小回弹的措施

6-76b)，以补偿两边的回弹。

⑥ 改变凸模底面形状与退料板的形状，可将凸模做成如图6-77所示的形状，减小凸模与工件的接触区，使压力集中在弯曲变形区，加大变形区的变形程度。

⑦ 对于一般材料的弯曲件，可增加压料力或减小凸、凹模之间的间隙，减小回弹。

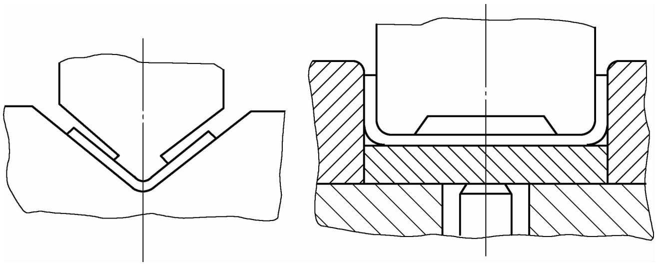


图 6-77　改变凸模形状减小回弹

⑧ 适当地调整压力机的气垫压力。

⑨ 选用屈服极限强度较低的材料并选用液压机来成形。

2）开裂。弯曲开裂产生在弯曲变形区的外缘，是在拉伸应力作用下产生的。为了克服它，可采取以下措施：

① 增大相对弯曲半径 r/t，即在成形工序时采用较大 r，增加校形工序，再次使 r 缩小。当板厚大于 6mm 时，最小相对弯曲半径 $R_{min}/t \geq 1.5$ 为宜，否则会产生弯曲裂纹。

② 提高板料冲裁质量，减少毛刺引起的应力集中。

③ 减少变形阻力因素，如模具圆角磨损、间隙过小、润滑不良、板厚严重超差和板面质量差等。

④ 注意弯曲方向和材料纤维方向。

⑤ 增加工艺切口和孔。如毛坯外轮廓上存在尖锐过渡的内圆角，又需要在此处弯曲，由于存在应力集中，可能产生撕裂，为此要在过渡内角处增冲工艺缺口或孔，或者使弯曲变形区远离过渡内角。

6.10.6　通用化模具

工程机械内板主要采用骨架加强梁结构，产品表面也多采用平面或弧度较小的结构形式，这种结构很容易将截面形状设计成一致的，针对工程机械的小批量、多品种特点，模具可实现通用化。某工程机械骨架结构如图 6-78 所示。图中横梁 1、竖梁 2 采用通用模具生产，不同规格尺寸只需更改下料长短，无需增开落料模，根据横梁、竖梁长短尺寸可实现多类型车通用。同时，工装拼焊时只需根据浮动定位销排列就可实现多类型产品共线生产。连接接头 3 是一通用部件，连接横梁和竖梁，可实现横梁、竖梁之间长短调节、拼焊组合调节。实现了挖掘机车身、履带吊车身、汽车吊车身、轮胎吊车身等工程机械模具、焊接工装通用。将工程机械部分产品实现标准化，可实现小批量产品大批量生产，对于异形件适合小批量改制。同时，对于非典型产品设计时，可直接借用其截面和交接处，实现快速设计。

6.10.7　组合模具

在制订工件的冲压工艺时，处理工序的分散与集中是比较复杂的问题。它取决于工件的批量、结构形状、质量要求、工艺特点等。对于通常是大批量生产的冲压件，应当尽量采取工序集中的方案，采用复合模或级进模进行冲压，这样既提高生产率，又能做到安全生产。实践经验表明，对于复合模，集中到一副模具上的工序数量不宜太多，一般为 2 ~ 3 个工序，最多

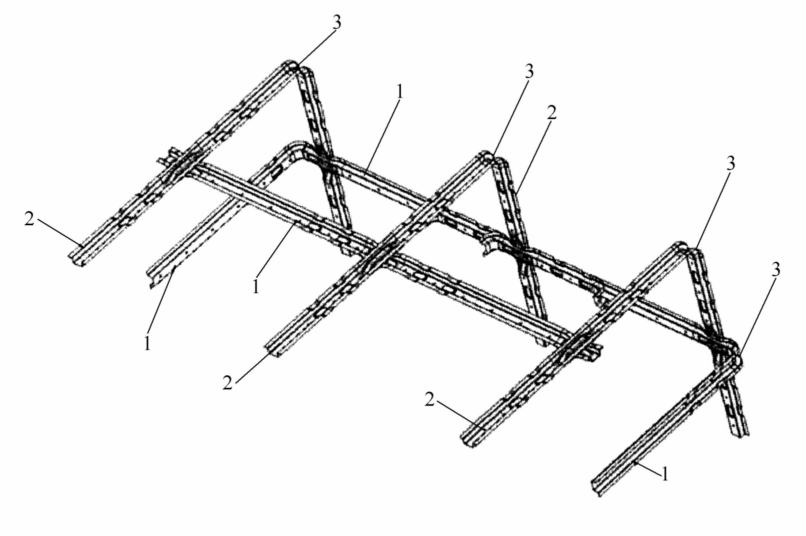


图 6-78　某工程机械骨架结构

1—横梁　2—竖梁　3—连接接头

4 个；对于级进模，集中的工序数可以多一些，因为其模具结构的布局范围自由度更大。

在大批量生产中，当确认工序有组合的必要后，究竟采用复合冲压还是连续冲压，其选用原则主要应考虑以下几方面：

1）连续冲压工序可加工外形尺寸小于 300mm 、厚度在 0.2 ~6mm 之间的工件，工件更大时会给冲压加工及冲压模具制造带来困难。一般来说，连续冲压工序更适于加工外形尺寸不大于 50mm 的小型工件。

2）复合冲压工序对工件外形尺寸的要求没有连续冲压时严格，但也只能加工最大外形尺寸在 1000 mm 左右、厚度在 0.05 ~3mm 之间的工件，板料更厚时就会影响冲压模具寿命。

3）工件上的孔间距或孔距边缘的距离很小时，应尽量采用连续冲压而不采用复合冲压，以保证冲压模具的强度足够。

4）对于尺寸过小的冲压件，当需要多道冲压工序加工而不能在 1 ~2 套复合模上完成全部冲压工序时，应尽量采用连续冲压，因为复合模冲压时送料、取件不方便。同时，也达到确保安全生产的目的。

6.10.8　无落料模成形

无落料成形用于形状相对简单的产品，这类产品展开尺寸计算相对精确，调整相对容易。运用弯曲件展开计算方法或借助 CAE 有限元展开，前期通过弯曲件展开，将落料线不规则的产品，在满足产品功能和性能要求的前提下，不断调整产品形状，使产品各截面展开尺寸一致，优化成展开尺寸为方料的产品。如图 6-79 所示

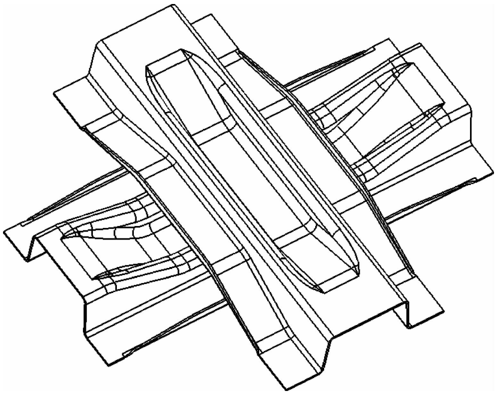


图 6-79　方料骨架通用交接头

为生产时无需落料模，直接成形出合格的产品。从而起到降低生产成本、提高生产效率的目的。

6.10.9　多工序共模

多工序共模主要针对中小型弯曲件，这类产品一般工序较多、产量小，重复转换工序经常造成生产混乱、机床效率低。共模生产主要通过合理布置工序内容，综合考虑现场工人操作、机床效率、人员效率等方面，合理将所有工序布置在一套模具上。对于工程机械中的一些通用产品，批量大时，可采用自动化装置传递零件，实现自动化生产，从而达到资源利用最大化的目的。

6.11　冲压模具安全要求

冲压模具是冲压加工的主要工艺装备，冲压制件就是靠上、下模具的相对运动来完成的。加工时由于上、下模具之间不断地分合，如果操作工人的手指不断进入或停留在模具闭合区，便会对其人身安全带来严重的威胁。

6.11.1　主要零件及安全要求

（1）工作零件　凸凹模是直接使毛坯成形的工作零件，因此，它是模具上的关键零件。凸凹模不但精密而且复杂，它应满足如下要求：

1）应有足够的强度，不能在冲压过程中断裂或破坏。

2）对其材料及热处理应有适当要求，防止硬度太高而脆裂。

（2）定位零件　定位零件是确定坯件安装位置的零件，有定位销（板）、挡料销（板）、导正销、导料板、定距侧刀、侧压器等。设计定位零件时应考虑操作方便，不应有过定位，位置要便于观察，最好采用前推定位、外廓定位和导正销定位等。

（3）压料、卸料及出料零件　压料零件有压边圈、压料板等。压边圈可对拉深毛坯加压边力，从而防止毛坯在切向压力的作用下拱起而形成皱褶。压料板的作用是防止毛坯移动和弹跳。顶出器、卸料板的作用是便于出件和清理废料。它们由弹簧、橡胶和设备上的气垫推杆支撑，可上下运动；顶出件设计时应具有足够的顶出力，运动要有限位。卸料板应尽量缩小闭合区域或在操作位置上铣出空手槽。暴露的卸料板的四周应设有防护板，防止手指伸入或异物进入，外露表面棱角应倒钝。

（4）导向零件　导柱和导套是应用最广泛的一种导向零件。其作用是保证凸凹模在冲压工作时有精确的配合间隙。因此，导柱、导套的间隙应小于冲裁间隙。导柱设在下模座，要保证在行程下死点时，导柱的上端面在上模板顶面以上最少 5 ~ 10mm。导柱应安排在远离模块和压料板的部位，使操作者的手臂不用越过导柱送取料。

（5）支承及夹持零件　它包括上、下模板，模柄、凸凹模固定板、垫板、限位器等；上、下模板是冲模的基础零件，其他各种零件都分别安装固定在上、下模板上面。模板的平面尺寸，尤其是前后方向应与制件相适应，过大或过小均不利于操作。

有些模具（落料、冲孔类模具）为了出件方便，需在模架下设垫板。这时垫板最好与模板之间用螺钉联接在一起，两垫板的厚度应绝对相等。垫板的间距以能出件为准，不要太

大，以免模板断裂。

（6）紧固零件　它包括螺钉、螺母，弹簧、柱销、垫圈等，一般都采用标准件。冲压模具的标准件用量较多，设计选用时应保证紧固和弹性顶出的需要，避免紧固件暴露在表面操作位置上，防止碰伤人手和妨碍操作。

6.11.2　模具设计的安全要点

1）在结构上应尽量保证便于进料、定料、出件、清理废料操作。对于小型零件的加工要严禁操作者的手指、手腕或身体的其他部位伸入模区作业；对于大型零件的加工，若操作者必须手入模内作业时，要尽可能减少入模的范围，尽可能缩短身体某部位在模内停留的时间，并应明确模具危险区范围，配备必要的防护措施和装置。

2）模具上的各种零件应有足够的强度及刚度，防止使用过程中损坏和变形，紧固零件要有防松动措施，避免意外伤害操作者。

3）不允许在加工过程中发生废料或工件飞弹现象，影响操作者的注意力，甚至击伤操作者。另外要避免冲裁件飞边割伤人手。不允许操作者在进行冲压操作时有过大幅度的动作，避免出现使身体失去稳定的姿势，也不允许在作业时有过多和过难的动作。应尽量避免冲压加工时有强烈的噪声和振动。模具设计应在总图上标明模具重量，便于安装，保障安全。20kg 以上的零件加工时应有起重搬运措施，减轻劳动强度。装拆模具零件时应方便安全，避免夹手、割手；模具要便于解体存放。总之，模具中细微的问题都有可能影响安全，只有对每种作业中的具体问题进行分析，才能制定出符合实际的安全注意事项。

6.12　冲压模具调试

6.12.1　模具损坏

1）热处理：淬火温度过高或不够，回火次数温度时间不适当，淬火方式和时间未能控制好；在使用一段时间后问题才暴露出来。

2）冲压叠料：料片重叠仍继续冲压，通常为剥料板破裂。

3）废料阻塞：落料孔未钻、尺寸不符、落在模具内的废料未及时清理，以冲头和下模板损坏较多。

4）冲头掉落：未充分固定或悬吊，或螺钉太细、强度不够，或冲头折断。

5）逃孔不够：冲头压板逃孔尺寸或深度不够，冲头和剥料板逃孔不够，通常为剥料板损坏。

6）异物进入：制品吹出弹回，模零件崩损掉落，螺钉突出模面或其他物品进入模内，都有可能会损坏下模、剥料板、冲头、导柱。

7）组装错误：错装零件位置、方向而导致零件损坏。

8）弹簧因素：弹簧力不够、弹簧断裂、等高套不等高使剥料板倾斜，或弹簧配置不正确，造成重叠冲打而损坏零件。

9）冲压不当：工作高度调整过低，导柱失油，料条误送或冲半料，周边设备，如送、放、收料设备损坏，空气管未装或未开，冲床异常等易造成零件损坏。

10）维修不当：零件该换而未换、螺钉未锁紧、未按原状复原而造成上述各种故障发生。

6.12.2　尺寸变异

（1）刀口磨耗　毛头太大或尺寸变大（切外形），冲孔尺寸变小，平面度不好。应重新研磨或更换冲模。

（2）没有引导　引导销或其他定位装置未起作用，送料设备没有放松或引导销直径不够，无法矫正引导。定位块磨损，送距过长。

（3）冲模太短　弯曲度变大，倒角不够，成形不完全。

（4）逃孔不当　受挤压、刮伤或变形。清理逃孔或加大逃孔孔径和深度。

（5）顶出机构设置不当　送料不顺、料条弯曲、脱料不佳。上模拉料、加长顶出。

（6）顶出机构装配不当　顶料销配制不当，弹簧力不适当或顶出过长。调整弹力、改变位置或销数量，销磨短配合。

（7）导料不佳　导料板长度不够或导料间隙太大，或模具和放料设备偏斜或模具与送料设备距离太长。

（8）下料变形　部分弯曲件不能容许板料重叠，必须每次落下。碟形应变可用压力垫或用剪斜法来克服。

（9）弯曲变形　上折弯处挤料；近接孔受拉力变形，受力不均导致弯曲，倾斜冲头长度不足。

（10）冲剪变形　材料扭曲不平、尺寸增大或偏心不对称。

（11）撞击变形　制品吹出气压太强或重力落下撞击导致变形。

（12）浮屑挤压：废料上浮、细屑留在模面或因异物挤压而导致变异。

（13）材料不当　料宽、板厚、材质或材料硬度不适当，也会产生变异。

（14）设计不佳　工程安排不好，间隙设定不良，除非变更设计，否则难以克服。

6.12.3　检修方法

（1）模具松动　冲模的移动量超过单边间隙。调整组合间隙。

（2）冲模倾斜　冲模的直线度不正或模板间有异物，使模板无法平贴。重新组装或研磨矫正。

（3）模板变形　模板硬度或厚度不够，或受外力撞击变形。更换新模板或采用更正拆组工作法。

（4）模座变形　模座厚度不够或受力不均匀，导致导柱、导套的直线度变异。研磨矫正，或重灌塑胶钢，或更换模座，或采取一定的措施使受力均匀。

（5）冲模干涉　应检查冲模尺寸、位置是否正确，上、下模定位有无偏差，组装后是否会松动，冲床精度是否不够，模架是否不正。

（6）冲剪偏斜　冲头强度不够，大、小冲头太近，侧向力未平衡。加强斜板引导保护作用或冲头加大、小冲头磨短，提早支撑引导，注意送料长度。

参 考 文 献

［1］ 郑家贤. 冲压工艺与模具设计实用技术［M］. 北京：机械工业出版社，2005.
［2］ 王孝培. 冲压手册［M］. 2版. 北京：机械工业出版社，2000.
［3］ 崔令江. 汽车覆盖件冲压成形技术［M］. 北京：机械工业出版社，2003.
［4］ 罗启全. 简易模具设计与制造［M］. 广州：科技出版社，2004.

首套以汽车、飞机、农机、机车、电子产品等的冲压件制造技术为主线，内容涉及材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与发展趋势，注重综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性的冲压技术丛书。

冲压技术丛书

冲压技术基础

汽车冲压件制造技术

航空航天钣金冲压件制造技术

农业机械工程机械冲压件制造技术

电机电器电子高速精密冲压件制造技术

轨道机车车辆冲压件制造技术

本书特色

★本书注重综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性。

★书中介绍农业机械、工程机械行业典型冲压件的现实制造技术，内容涉及冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系和发展趋势。

★重点介绍中小件冲压技术、覆盖件成形技术、管材件成形技术、钣金件制作技术。

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/机械工程/冲压

ISBN 978-7-111-43905-9
策划编辑◎孔劲

ISBN 978-7-111-43905-9

定价：98.00元